

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
Fakulta Strojní – Institut dopravy

Predikce polohy UAV  
Prediction of UAV position

Student:

Bc. Jakub Vitek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Vítek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 40 Letecká doprava  
Téma: **Predikce polohy UAV**  
**Prediction of UAV Position**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza možností prognózování letu UAV
2. Výběr a návrh metody prognózování letu UAV
3. Návrh a vypracování modelu prognózování letu UAV

Cíl DP: Cílem je analýza predikce pohybu několika UAS s výběrem metody prognózy, návrhem a vypracováním modelu pohybu několika UAS

Seznam doporučené odborné literatury:

Sborník 12. mezinárodní konference Měření, diagnostika a spolehlivost palubních soustav. Brno: UO Brno. 2012  
Sborník konference Nové trendy v civilním letectví. Ostrava: VŠB TU Ostrava. 2012  
[http://www.potucek.net/src/diploma\\_thesis.pdf](http://www.potucek.net/src/diploma_thesis.pdf)  
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/12848>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012  
Datum odevzdání: 20.05.2013



*Aleš Slíva*

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry


*Ivo Hlavatý*

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5.2013

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'A' followed by a 'Z' and a horizontal line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2013



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jakub Vítek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Komunardů 6, Havířov 73601

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VÍTEK, J. *Predikce polohy UAV: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy – Ústav letecké dopravy, 2013, 77s.

Vedoucí práce: Ing. František Martinec, CSc.

Diplomová práce se zabývá prognózováním letu bezpilotních letounů při pátracích akcích po pohřešovaných osobách. V této práci je analyzován současný stav pátrání po pohřešovaných osobách. Dále je zde zpracován návrh na postupy modelování pohybu skupiny bezpilotních letounů. A nakonec je vypracován matematický model pro predikci polohy pomocí jedné z metod lineárního programování.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

VÍTEK, J. *Prediction of UAV position: Master thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport – Department of Air Transport, 2013, 77p.

Thesis head: Ing. František Martinec, CSc.

Master thesis is dealing with prediction of UAV position which are using in SAR missions. This thesis also analyzes present SAR missions conditions. There is concept of modeling of movement UAS for SAR. At the end is create a mathematical model of UAV movement by one of the method of linear programming.

## **Poděkování**

Velké poděkování patří Ing. Františku Martincovi, CSc. za pomoc, vedení a vstřícnost při konzultacích mé diplomové práce.

## Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1. Cíl Práce	10
2. Úvod	11
3. Pohřešovaná osoba	12
4. Současná situace ve vyhledávání osob	15
4.1. Obecná ustanovení pro pátrací akce	15
4.2. Příprava pátrací akce	15
4.3. Organizace a řízení pátrací akce	17
4.3.1. Řídící štáb	17
4.3.2. Řízení akce v polních podmínkách bez pomoci jiných složek	18
4.3.3. Řízení společné akce pátrání složek IZS	18
4.4. Provedení pátrací akce	19
4.4.1. Postup propátrávání prostoru policisty - rojnice	20
4.4.2. Spojení a další logistické zabezpečení	21
4.4.3. Dokumentace pátrací akce	21
4.4.4. Podrobnosti o základních dokumentech [2]	23
4.4.5. Postup při nálezu pohřešované osoby	24
4.4.6. Ukončení pátrací akce	24
4.5. Využití speciálních sil a prostředků	25
4.5.1. Využití vrtulníků při pátrání [2]	25
4.5.2. Využití věcné a osobní pomoci	29
5. Použití bezpilotních letounů pro pátrání	30
6. Analýza možností prognózování letu UAV	33
6.1. Start UAV se záporným šípem	33
6.2. Přistání UAV se záporným šípem	35
6.3. Možnosti predikce polohy UAS	36
6.3.1. Rozdělení prostoru na sektory	36

6.3.2. Pátrání ve formaci.....	37
7. Výběr a návrh prognózování letu UAV .....	40
7.1. Prohledávání po přímé trase .....	41
7.2. Pátrání letem po vrstevnici .....	42
7.3. Systematické pátrání prostorem .....	44
8. Základní model predikce polohy UAV .....	46
8.1. Jednotlivé části modelu .....	47
8.1.1. Vstupní podmínky .....	47
Okolní vlivy .....	47
Výstup.....	47
8.2. Řešení modelu.....	47
8.2.1. Funkční závislosti.....	47
8.2.2. Konkrétní řešení modelu.....	49
8.3. Výstup.....	56
9. Model prognózování letu kvadrokoptéry .....	57
9.1. Matematický model.....	58
9.2. Úloha obchodního cestujícího.....	59
9.2.1. Postup řešení této úlohy .....	59
9.3. Aplikace úlohy obchodního cestujícího .....	62
9.3.1. Konkrétní aplikace úlohy obchodního cestujícího .....	63
9.3.2. Použití modelu v praxi.....	66
9.4. Finální řešení letu kvadrokoptéry.....	69
10. Zhodnocení cílů .....	75
11. Závěr.....	76
12. Seznam použité literatury .....	77



## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Český tvar	Anglický tvar
<b>UAS</b>	Systém bezpilotních letounů	<i>Unmanned aerial system</i>
<b>UAV</b>	Bezpilotní letoun	<i>Unmanned aerial vehicle</i>
<b>IZS</b>	Integrovaný záchranný systém	
<b>HZS</b>	Hasičská záchranná služba	
<b>OPIS</b>	Operační a informační služba	
<b>HSAR</b>	Halifaxská záchranná organizace	Halifax Search and Rescue
<b>SAR</b>	Pátrání a záchrana	Search and Rescue

## **1. Cíl Práce**

Cílem této diplomové práce je zanalyzovat predikci neboli prognózování pohybu několika UAV, přičemž bych měl na konci práce skončit tím, že vyberu tu správnou metodu nebo filosofii predikování polohy bezpilotních letounů pro problematiku pátrání po pohřešovaných osobách.

Dále by tato práce měla obsahovat návrh řekněme metody, kterou by se tento problém dále řešil a mohl se tak použít i v obecné rovině a ne jenom v konkrétních případech. Pro tuto možnost je hlavním cílem této práce zpracovat, alespoň nějaký model mnou vybrané metody predikce polohy bezpilotních letounů.

## 2. Úvod

Tato diplomová práce je součástí projektu, který je realizován na Ústavu letecké dopravy pod Institutem dopravy na Vysoké škole Báňské technické univerzitě Ostrava. Projekt má název je Bezpilotní metrologické prostředky, tento projekt má celkově vyřešit problematiku pátrání v terénu po pohřešovaných osobách za pomoci bezpilotních prostředků.

V současné době se bezpilotní prostředky používají hlavně k jiným cílům zejména jde o vojenské akce jak útočné, tak výzvědné. Jelikož zatím bohužel nejsou tyto prostředky k dispozici, tak by bylo dobré si v úvodu nadefinovat vůbec technické i technologické možnosti.

V budoucnu se počítá s použitím čtyř bezpilotních letounů konstruovaných se záporným šípovitým křídlem, který by měl být schopen běžně letět rychlostí 80 km/h. Dalším bezpilotním prostředkem by byla kvadrokoptéra, která by měla trochu jiné funkce než letouny se záporným šípem. Kvadrokoptéra by měla být schopna létat běžně rychlost 50 km/h. Dolet kvadrokptéry je 30 minut a dolet UAV se záporným šípem je 40 minut.

Co se týče technologie vyhledávání z hlediska snímačů, bude k dispozici kamera s nočním viděním, která by měla být schopna účinně snímat povrch země z výšky 400 m nad povrchem.

Posledním důležitým aspektem na úvod je oblast, která se bude prohledávat. Tady je problém možná trochu, co se týče snímače, s hustě zarostlými oblastmi. Dále už žádná omezení kromě rozlohy nemáme. Maximální rozloha oblasti určené k vyhledávání pohřešované osoby je 10 x 10 km.

### 3. Pohřešovaná osoba

Ještě než se pustíme do detailního popisu pátrání po pohřešovaných osobách a poté problematiky použití bezpilotních letounů při těchto akcích, měli bychom si říci něco o samotných osobách, které jsou pohřešovány. Jedním z velmi podstatných faktorů pro určení prostoru a stylu vyhledávání je psychologie člověka v tísni respektive, který je ztracen někde v přírodě či divočině. Touto problematikou se zabývá profesor psychologie z Kanadského Halifaxu jménem Kenneth A. Hill.

Do osmdesátých let se výzkum v oboru psychologie ztracených osob prováděl zřídka. Dokud nedošlo k několika ztracením osob. V roce 1986 zmizel devítiletý chlapec v hustých lesích kanadské provincie Nové Skotsko. Ne náhodou se Halifaxu v Novém Skotsku přezdívá hlavní město ztracených osob Severní Ameriky. Pět tisíc dobrovolníků se pokoušelo chlapce najít a zachránit. Marně. Po osmi dnech hledání našli jen mrtvé tělo. Tahle událost spustila přelomový výzkum chování ztracených osob, který dnes slouží jako základ pro záchranné týmy po celém světě. V angličtině se záchranným operacím říká zkráceně SAR, podle anglických slov Search and Rescue (hledej a zachraň). [1]

Kenneth A. Hill je profesorem psychologie na Univerzitě sv. Marie v Halifaxu. V roce 1986 byl požádán, aby pomohl záchranníkům při hledání ztraceného chlapce analýzou jeho možného chování. V té době ale profesor Hill bohužel věděl velmi málo o tom, co se děje v hlavách ztracených a bloudících osob. Záchranníkům příliš nepomohl. Tahle tragická událost ale odstartovala jeho výzkum prostorové orientace, vnímání a psychologie aplikované na SAR. Vypointovaný životní příběh profesora Hilla, v současnosti asi nejuznávanějšího odborníka na „psychologii ztracených“, zaujal mnoho novinářů, nejznámější je ceněný článek Laurence Gonzalese Země ztracených, uveřejněný v časopise National Geographic, či článek Rychlohledači z časopisu Canadian Geographic. [1]

Ve své studii Chování ztracených osob (1998) Kenneth A. Hill odhaluje vědomé i nevědomé pochody v myslích ztracených osob. Říká: „Až do poloviny 20. Století mnoho vědců věřilo, že lidé mají smyslový mechanismus k určování magnetického severu, což ale nikdy žádná studie nepotvrdila. Schopnost orientovat se je dána uměním interpretovat okolní terén. Lidé s dobrým smyslem pro orientaci vynikají hlavně ve schopnosti mentálně aktualizovat svoji polohu, ve schopnosti udržovat aktivní mentální mapu dané lokality.“ Nejvíce umírají při ztrátě orientace děti. Nejčastější sekundární příčinou dětských úmrtí v přírodě bývá hypotermie – podchlazení. Lidské tělo ztrácí své teplo dvěstěkrát

rychleji ve vlhku než v suchu. Křehká dětská těla se podchlazují ještě rychleji. Dalším problémem je, že se děti mohou bát záchranářů, s cizími lidmi si přeci nemají hrát. Např. halifaxská záchranářská organizace HSAR se proto ve své osvětě soustřeďuje právě na děti. [1]

Různé skupiny lidí se při ztrátě orientace chovají různě. Zkušený turista bude zřejmě na jiném místě než sedmileté dítě, i kdyby vyrazili oba ze stejného bodu. Až zarážející rozdíl je mezi dětmi do šesti let a dětmi ve věku od šesti do dvanácti let. Pokud se totiž ztratí pětileté dítě, naděje, že se zachrání živé, je mnohem vyšší než u dítěte desetiletého. Čím to je? Malé děti zřejmě mnohem více spoléhají na instinkty, zatímco ostatní se mnohem více řídí „rozumem“. Malé děti nemají ponětí o dvourozměrném prostoru. Nedokážou udržovat „mentální mapu“ okolí, schoulí se pod strom a čekají. To značně ulehčuje práci hledačům, akční rádius ztraceného je velmi malý. Děti od šesti do dvanácti let naproti tomu mají nejnižší „míru přežití“. Když se ztratí, zpanikaří a utíkají, co jim nohy stačí. Čím déle jsou ztraceni, tím větší je jejich akční rádius. A šance na záchranu klesá. [1]

Chování ztraceného se mění v několika fázích. Jednotlivé fáze většinou vypadají následovně:

- 1) Ztracený si odmítá připustit, že neví, kde je.
- 2) Ztracený si připustí svoji situaci a zpanikaří.
- 3) Ztracený se uklidní a navrhuje strategii, jak se najít.
- 4) Pokud strategie zklame, mentální i fyzický stav se zhoršuje.
- 5) Rezignace.

Jednotlivé fáze se až nápadně podobají „cyklům zármutku“ nebo jinde nazývaným „cyklům umírání“ tak, jak je popsala psycholožka Elisabeth Kübler-Ross: odmítnutí, vztek, vyjednávání, smutek, přijetí. U mužů trvá první fáze většinou déle než u žen. Notoricky známí z odborné literatury jsou muži-řidiči, kteří místo, aby se zeptali na cestu, projedí křížem krážem celé město. Podobně jednají i muži v divočině. Např. turisté mají nižší „míru přežití“ než děti do šesti let. Druhá fáze může kulminovat tzv. lesním šokem (angl. woods shock). Ve stavu lesního šoku lidé úplně ztrácejí pojem o své poloze. William G. Syrotuck, průkopník ve výzkumu ztracených osob, popsal lesní šok ve své studii Analýza chování ztracených osob (1976): „Člověk cítí závrať, stromy a svahy na něho padají. Klaustrofobické pocity nutí člověka prchat pryč.“ U některých lidí může takový zážitek spustit tzv. hylofobii – strach z lesních prostor. [1]

Například se říká: „Muž – průměrný manažer bez zkušeností s pobytem v přírodě se nechá usmýkat strachem a panikou rychleji než žena. Nebo také existuje následující přísloví nebo říkanka, která shrnuje zásady pro přežití v přírodě:

Zastavit stát a obejmí strom.

Zapni si bundu a zašněruj boty.

V závětrí postav si domeček z větví.

Na zem si neseď, ta pěkně studí,

radši si pod sebe vyskládej chvojí.

A před domkem udělej pořádný binec,

a my tě najdeme, než řekneš švec.

Strategie, jak najít ztraceného, závisí na vlastnostech hledané osoby. Například turista ztracený po dvě hodiny a jdoucí rychlostí 5 km/hod. vytvoří hledací plochu o více než 300 km<sup>2</sup>. Právě turisté často přeceňují svoje schopnosti a jejich hledání bývá (alespoň v divočině) nejtěžší a nejfatálnější. Proto se vyplatí zapisovat se do návštěvních knih na začátku túr, jako je to zvykem na mnoha místech Země, nebo alespoň zanechat informaci o svém záměru. Pokud vás někdo začne postrádat po deseti dnech, je totiž už většinou pozdě.

## **4. Současná situace ve vyhledávání osob.**

Jak už bylo řečeno, tato práce se snaží nalézt a popsat optimální metodu prognózování letu skupiny bezpilotních prostředků (UAS) při vyhledávání pohřešovaných osob v terénu pro podmínky oblastí České Republiky a okolí. Abychom si mohli lépe uvědomit celkovou problematiku vyhledávání pohřešovaných osob, budeme se tomuto problému věnovat v této kapitole. Přesněji si popíšeme, jak v dnešní době probíhá proces od nahlášení pohřešování až po samotné vyhledávání pohřešované osoby v terénu v našich podmínkách respektive v České Republice.

### **4.1. Obecná ustanovení pro pátrací akce**

Pátrací akce po pohřešovaných osobách je jedna z forem policejní činnosti prováděná Policií České republiky při plnění úkolů (dále jen “policie”), které nelze zabezpečit běžným výkonem služby. Jedná se o systém organizačních, operativně pátracích, administrativně evidenčních a jiných opatření k nalezení pohřešovaných osob. Při vyhlášení pátrací akce po pohřešovaných osobách se postupuje podle interního aktu řízení.

Doporučené postupy vypracované odborníky na pátrání po pohřešovaných osobách, kteří čerpají z dlouholetých zkušeností, uvádějí některá neodkladná a součinnostní opatření při provádění pátracích akcí po pohřešovaných osobách, které jsou bezprostředně ohroženy na životě a zdraví. Jedná se především o děti do 15 let věku, přestárle a nemocné osoby, u kterých okolnosti spojené s jejich pohřešením nasvědčují bezprostřednímu ohrožení jejich života a zdraví, pokud tyto nebudou nalezeny v krátkém čase. A právě pro tyto případy by se měly používat naše bezpilotní prostředky, oproti dnešním praktikám mají několik výhod, o kterých se právě máte dozvědět z této práce. [2]

### **4.2. Příprava pátrací akce**

Při přípravě provedení pátrací akce na záchranu osob se vychází z údajů uvedených v „oznámení o pohřešované osobě“ a dalších poznatků získaných od oznamovatele, tedy osoby oznamující, že nějaká jeho blízká osoba se pohřešuje. Jedná se o zjištění motivu a příčin jejího zmizení pro vytyčení pátracích verzí a stanovení konkrétních úkolů, ale hlavně je potřeba vytyčit ideální oblast vyhledávání. Před tímto je třeba pátracími složkami provést určité úkony zejména:

- prověření místa posledního výskytu pohřešované osoby, například místa trvalého nebo přechodného bydliště, pracoviště, místa rekreačního pobytu, cesty do zaměstnání i ze zaměstnání, školy, míst obvyklých procházek v lese, parku, na břehu řeky, veřejných místností, kina, divadla nebo jiných míst, jako jsou sklepy, půdy, skladiště, zahrady, vinice a další prostory,
- místa, kde by se v případě smrti mohla pohřešovaná osoba nacházet - např. studně, výkopy, bazény, rybníky apod.

Nasvědčují-li zjištěné skutečnosti, že se pohřešovaná osoba může zdržovat nebo nacházet na určitém území nebo v objektu, zejména je-li znám čas a prostor jejího pohybu, zahajuje se pátrací akce. Dále je také nutno zahájit pátrací akci v případech, které to nezbytně vyžadují s ohledem na profil pohřešované osoby. Toto opatření se může týkat například: [2]

- dítěte předškolního věku, které opustilo své rodiče (pěstouny nebo jiné osoby či ústavy) nebo se tímto ztratilo,
- osob, které nejsou ze zdravotních důvodů svéprávné,
- kdy na základě ověřeného tíšňového volání nebo svědectví přímého svědka je zjištěno, že pohřešovaná osoba se ztratila vlivem přírodních sil (např. smetena lavinou, odnesena proudem vody apod.).

Jestliže je vhodné nebo nutné zahájit pátrací akci na záchranu osob neprodleně v případech, které jsou uvedeny v odstavcích výše a policie nemá k dispozici dostatečné vlastní síly a prostředky, předá informaci o potřebě sil a prostředků operačnímu a informačnímu středisku integrovaného záchranného systému (dále jen „OPIS IZS“) kraje. A právě v tomto případě by se dostaly k práci naše bezpilotní prostředky, tedy v té době, kdy by o tuto službu požádala Policie České Republiky. V informaci pro operační a informační středisko se uvede: [2]

- a) místo, na kterém se mají síly a prostředky složek IZS soustředit a očekávat příjezd policie,
- b) předběžný odhad potřeby množství a druhů sil a prostředků,
- c) jméno a spojení na příslušníka policie, který bude v první fázi vykonávat funkci velitele zásahu složek IZS.



## 4.3. Organizace a řízení pátrací akce

### 4.3.1. Řídící štáb

Jestliže to vyžaduje závažnost pátrací akce nebo potřeba náročné organizace a koordinace činnosti při nasazení hromadného počtu sil a prostředků nejen policie, ale i dalších subjektů (složky IZS a dále různí specialisté, skupiny, a technika právnických a fyzických osob poskytujících věcnou nebo osobní pomoc – naše UAS), je z organizačních důvodů vhodné pro pátrací akci vytvořit řídicí štáb. Budeme li si chtít představit použití bezpilotních prostředků potom, je řídicí štáb více než nutný.

Úkolem štábu pátrací akce je příprava a zpracování rozhodnutí pro plnění úkolů a jejich doručení vykonavatelům. V průběhu pátrací akce, štáb uskutečňuje sběr a vyhodnocování informací, na jejichž základě velitel řídí pátrací akci. O vydaných rozkazech a pokynech vede štáb písemný nebo zvukový záznam. V období přípravy pátrací akce štáb zpracovává „Plán pátrací akce“, který má grafickou a písemnou formu. Plán pátrací akce by byl první informací, kterou bychom dostali k provedení pátrání po pohřešované osobě pomocí bezpilotních letounů. Od tohoto bodu také budeme postupovat s plánováním a prognózováním optimální trasy bezpilotních letounů v další části této práce. [2]



*Obrázek 4.1 – řídicí štáb [9]*

Řízení pátrací akce se provádí na vhodně vybraném místě, pokud možno poblíž místa události, kde bude probíhat pátrací akce. Místo nebo objekt řídicího štábu by měl být vybaven dopravními, spojovacími a dalšími prostředky pro práci a velení. K tomuto účelu jsou využívána zejména pracoviště a útvary policie, například okresní (obvodní, městská) ředitelství, výkonné organizační články, popř. pracoviště obecních úřadů apod.

#### **4.3.2. Řízení akce v polních podmínkách bez pomoci jiných složek**

Jestliže je z rozhodnutí řídicího štábu zahájena pátrací akce v terénu, které se neúčastní jiné síly a prostředky než z policie, může se řídicí štáb přesunout na konkrétní místa zásahu. Pro zabezpečení jeho činnosti je vhodné využít velitelská vozidla pořádkových jednotek, pokud jsou k dispozici, nebo jiná obdobná vozidla. Při řízení sil a prostředků při pátrací akci v polních podmínkách využívá vedoucí řídicího štábu (velitel) pravidel a pravomocí stanovených interními předpisy a řídí všechny na místě přítomné síly a prostředky organizačních článků a služeb policie.

K efektivnímu využití sil a prostředků soustředěných k provedení pátrací akce je účelné využít v pátrací akci i síly mimo policii (např. lesníky, hajné, lesní a zemědělské dělníky, sportovní potápěče apod.). Jedná se o podpůrné subjekty pátrání, které není vhodné zařazovat do řídicího štábu pátrací akce.

#### **4.3.3. Řízení společné akce pátrání složek IZS**

Jestliže je z důvodů uvedených výše nutné zahájit pátrací akci pro záchranu osob a v průběhu pátrací akce se zjistí nutná potřeba účasti alespoň jedné složky IZS, stanoví vedoucí řídicího štábu pátrací akce nebo nejvýše postavený funkcionář Policie ČR, pokud štáb není zřízen, velitele zásahu složek IZS. Pokud není zcela vyloučen trestný čin jako příčina pohřešování osoby, není vhodné, aby velitelem zásahu složek IZS byl velitel pátrací akce, který musí řídit i operativně pátrací činnosti podle nařízení o pátrání. Může totiž nastat situace, kdy budeme pátrat po hledané osobě, která je buďto na útěku nebo po ní bylo vyhlášeno celostátní pátrání důvodu spáchání trestného činu. [2]

Příslušník policie, který je stanovený jako velitel zásahu složek IZS, využívá při své činnosti v plné míře zákonné pravomoci příslušníka policie a současně pravomoci velitele zásahu stanovené ve zvláštním zákonu, zejména: [2]

a) koordinovat všechny složky IZS, nasazené na místě zásahu,

b) nařídit bezodkladné provádění nebo odstraňování staveb a terénních úprav za účelem nalezení pohřešované osoby (např. vypustit rybník),

c) vyzvat právnické nebo fyzické osoby k poskytnutí věcné nebo osobní pomoci, zde je možnost pro použití našich prostředků UAS pro pomoc při záchraně či hledání pohřešovaných osob dle oficiálních pokynů pro pátrání po pohřešovaných osobách od Policie České Republiky,

d) rozdělit místo zásahu na sektory, popřípadě úseky a stanovit jejich velitele, který je oprávněn ukládat úkoly a rozhodovat o přidělování sil a prostředků do podřízenosti velitelů sektorů a úseků.

Povolávání a nasazování složek IZS se provádí zásadně prostřednictvím OPIS HZS kraje. Velitel zásahu podle plánu spojení zpravidla komunikuje s OPIS HZS kraje prostřednictvím operačního střediska příslušného útvaru policie. Je oprávněn komunikovat s OPIS IZS kraje i přímo a požadovat zejména informace o silách a prostředcích složek IZS a jejich možnostech a dojezdových časech nebo informace o smluvně předjednané věcné pomoci specializovaných právnických osob. OPIS IZS kraje je povinno neprodleně poskytnout veliteli zásahu veškerou potřebnou součinnost.

#### **4.4. Provedení pátrací akce**

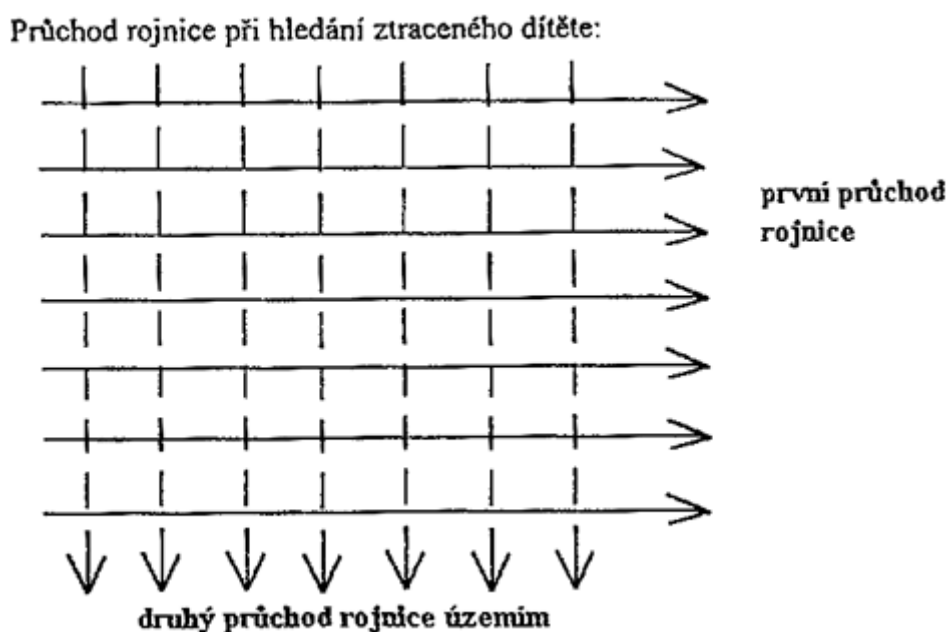
Pátrání je třeba orientovat na taková opatření a úkony, které jsou též odvislé od délky času, který uplynul od doby zmizení osoby, po přijetí „oznámení o pohřešované osobě“. Čas, který uplynul od pohřešování osoby, může být v souvislosti s některými poznatky o osobě (např. sklony, duševní stav, motiv útěku), směrodatný pro rozhodování o územním rozsahu pátrání, ale také pro rozhodování o nasazení počtu sil a druhu prostředků. V průběhu pátrací akce je třeba průběžně využívat i operativního průzkumu uvnitř i mimo prostor k zachycení signálů o pohřešované osobě nebo k prověření poznatku. [2]

Způsob a směr postupu pátrací akce se volí s přihlédnutím k věku pohřešované osoby (dítě, mladistvý, dospělá osoba), dále k jejímu zdravotnímu stavu a fyzickým vlastnostem (např. osoba duševně chorá, hluchoněmá, tělesně postižená), ale také s přihlédnutím k tomu, zda jde o osobu, která je pohřešována poprvé nebo již opakovaně. Při pátrací akci je nutno usilovat o co nejmenší rozlohu prostoru pátrání při nejpresnější zjištění času a místa (prostoru) kde je předpoklad, že se pohřešovaná osoba nachází, na množství sil a prostředků, které jsou pro pátrací akci k dispozici a na charakter území, které je nutno propátrat, včetně vytvoření záloh pro střídání a odpočinek nasazovaných sil. Touto problematikou se zabýval profesor psychologie z Kanadského Halifaxu Kenneth A. Hill, jak jsme si už řekli v předcházející kapitole. Psychologická stránka věci je celkem

důležitá pro určení prostoru vyhledávání a pravděpodobnosti, že je hledaná osoba ještě naživu. [1]

#### 4.4.1. Postup propátrávání prostoru policisty - rojnice

Propátrávání prostoru se provádí postupující řadou policistů v linii, tzv. rojnice v jednom směru, která zaujme nástup na stanoveném výchozím místě s potřebnými rozestupy tak, aby byla alespoň vizuálně pokryta veškerá místa a vzdálenosti mezi policisty, kde rojnice postupuje a pátrá. Výchozími body jsou zpravidla výrazná terénní místa, která se vyznačí do používané mapy.



Obrázek 4.2 – rojnice pro hledání dítěte [10]

Při propátrávání prostoru tzv. rojnicí policistů se jedná o plošný postup pátrací skupiny stanoveným směrem určeného prostoru, který lze je-li to vzhledem k jeho velikosti a rozloze možné, rozdělit na sektory, jejichž propátrání se vždy vyznačuje v používané mapě. Při plošném pátrání se využívá vyrovnávací čára, která slouží k uspořádání pátracích skupin. Jedná se zpravidla o terénní čáru, průsek, cestu, vodní tok apod. Pátrací skupiny se zde zastavují, organizují se, obnovují přerušené spojení, doplňují materiální zabezpečení apod. Vyrovnávací čáry se určují podle terénu a namáhavosti pátrání dle rozhodnutí velitele pátrací akce. Zastavení pátrací skupiny se provádí na konečné čáře, na které se pátrací skupiny zastavují a vyčkávají dalších pokynů a rozkazů.

Propátrání prostoru je možné provádět v tzv. kruhu z jeho středu nebo opačně, z obvodu do středu. V těchto případech se policistům pátrací skupiny určí výchozí místo.

Kruh lze rozdělit i do výsečí, ve kterých se pátrá obdobně jako v kruhu. Propátrání se vždy vyznačí v používané mapě. Propátrání označeného terénního místa (skalní útvary, povrchové a podzemní prostory, jeskyně apod.) a všech jiných objektů se provádí po předchozí předběžné prohlídce místa za předpokladu, že pohřešovaná osoba není bezprostředně ohrožena, zejména na životě a nehrozí-li následky na životě a zdraví. Propátrání těchto míst se rovněž vyznačí na používané mapě. Veškerá místa a objekty, které se nepodařilo propátrat, se vždy vyznačí na používané mapě. [2]

Tuto metodu by bylo možno, jak bude později řečeno v této práci, nahradit použitím prohledávání daného prostoru pomocí bezpilotních prostředků. Pohyb těchto prostředků by měl mít oproti metody prohledávání rojnicí několik výhod, jak bude naznačeno dále v textu.

#### **4.4.2. Spojení a další logistické zabezpečení**

Pro zabezpečení velení, řízení a organizace jsou využívány všechny druhy spojení: telefonní, radiové, faxové, elektronické a pohyblivé prostředky. V případě, že pátrací akce probíhá za pomoci složek IZS je vhodné využívat systém spojení radiotelefonů Matra-PEGAS, který je pro IZS předurčen. [2]

K využití spojovacích prostředků štáb zpracovává „Plán spojení“, který je součástí Plánu pátrací akce. Povinností všech určených velitelů prvků celé sestavy v pátrací akci je vyvíjení nepřetržitého úsilí k udržení spojení s nadřízeným, okolními veliteli i vlastními silami a prostředky. Je-li použito mobilních telefonů, měly by být předem mapovány územní celky s pokrytím jednotlivých operátorů, kde je předpoklad, že budou propátrávány. [2]

Kromě potřebného spojení pro činnost štábu pátrací akce při plánování a v průběhu akce se dále organizuje všeobecné a všestranné zabezpečení, které vychází z konkrétní situace. Jde zejména o obsah, který může tvořit operativní zabezpečení, uzávěry přilehlých prostorů, terénu apod., pokud je typový plán zpracován, týlové, technické, zdravotnické a další druhy zabezpečení podle potřeby. Výsledkem rozhodovacího procesu velitele pátrací akce je přijetí rozhodnutí a jeho vydání. [2]

#### **4.4.3. Dokumentace pátrací akce**

Pro úspěšné organizování pátrací akce se vede písemná a grafická dokumentace, kterou štáb zpracovává v období organizace a řízení pátrací akce. Účelem jejího vedení je

zejména dávat jasný přehled o vývoji situace a o úkolech jednotlivých prvků sestavy pátrací akce. Grafická dokumentace zejména obsahuje: [2]

- a) grafické rozhodnutí pro organizování pátrací akce,
- b) pracovní mapy služebních funkcionářů, kteří se zúčastňují na organizování pátrací akce,
- c) výkazovou mapu, která je vedena ve štábu pátrací akce v průběhu celé pátrací akce,
- d) výpisy z grafického rozhodnutí doručované výkonným složkám v potřebném rozsahu,
- e) plán spojení v pátrací akci.

V závislosti na velikosti prostoru, na kterém se organizuje pátrací akce, se zpracovávají uvedené dokumenty na mapách v měřítku 1 : 25 000 nebo 1 : 50 000. Použité mapy v měřítku musí být při pátrací akci shodné, aby její účastníci měli možnost mezi sebou komunikovat.

Textová dokumentace se zpracovává a vede v průběhu pátrací akce a zpravidla obsahuje: [2]

- a) rozkaz velitele pátrací akce,
- b) deník pátrací akce,
- c) nařízení, výpisy z rozkazů nebo z plánu pátrací akce,
- d) nařízení pro materiálně-technické a zdravotnické zabezpečení.

Mimo uvedených dokumentů se v průběhu pátrací akce mohou vést různé přehledy, tabulky, schémata a jiné pomocné dokumenty, které slouží k velení jednotlivým prvkům sestavy pátrací akce (jednotkám, skupinám), výkazové a informační dokumentaci a pomocné dokumentaci. Dokumentace velení jednotkám zpravidla obsahuje: [2]

- a) plán pátrací akce,
- b) rozhodnutí nebo výpis z rozhodnutí,
- c) rozkaz velitele pátrací akce,
- d) výpisy z interních aktů řízení,
- e) plán spojení aj.

Základním dokumentem je však rozhodnutí, které se musí zpracovávat při organizování každé pátrací akce. Výkazová a informační dokumentace se bude zpravidla vést na výkazové mapě velitele pátrací akce a v deníku pátrací akce.

#### **4.4.4. Podrobnosti o základních dokumentech [2]**

**Pracovní mapa** je dokumentem velitele a dalších funkcionářů, kteří se zúčastňují pátrací akce. V pracovní mapě se průběžně zaznamenává vývoj situace pátrání a vlastních sil, dále připravované rozhodnutí o řešení vzniklé situace a úkoly.

**Výkazová mapa** se vede ve štábu pátrací akce a obsahuje zpravidla údaje shodné s pracovní mapou velitele pátrací akce. Na této mapě je situace vedená v reálném čase a jejím obsahem jsou potřebné informace o pohřešované osobě, o vlastních silách a prostředcích, které byly v pátrací akci použity. Výkazovou mapu vede zpravidla jeden policista, který je členem štábu. Situace uvedených prvků je zachycena ve stanovených časových intervalech, s uvedenou legendou.

**Výpisy** se vedou v grafické nebo textové podobě, v potřebném rozsahu pro činnost začleněných policistů a určených velitelů pátrací akce. Zpravidla půjde o výpisy z rozhodnutí nebo plánu pátrací akce, které slouží jako jedna z forem předávání úkolů podřízeným. Výpisy obsahují situace v prostoru pátrání, dále informace o osobě, po které se pátrá, situaci a úkoly vedené sousedních skupin, místo operačního štábu, lhůty a způsoby podávání hlášené služby.

Plán spojení se zpracovává na mapě v měřítku 1 : 25 000 nebo 1 : 50 000 a jsou v něm uvedené:

- a) místo řídicího štábu pátrací akce, jeho vysunutá místa v prostoru pátrání, záložní velitelské stanoviště a podobně,
- b) dislokace míst oddělení nebo útvaru Policie v prostoru pátrací akce, nebo v jeho okolí,
- c) předpokládané výchozí místa pátrání (čáry), kontrolní body, případně filtrační body.

K uvedeným prvkům se graficky znázorňují spojovací prostředky s označením typu radiové stanice a s vyznačením radiového směru nebo radiové sítě, telefonní spojení (pevné, mobilní), faxové případně elektronické. Přílohou k plánu spojení zpracovaného na mapě jsou především volací znaky, hlavní a záložní kanál pro využití radiových stanic,

úkoly pro zřízení radiových směrů a radiových sítí, tabulka signálů a úkoly pro využití jednotlivých jiných druhů spojení.

**Deník pátrací akce** slouží jako písemný výkazový dokument, do kterého se v chronologickém sledu zapisují údaje o vývoji situace, přijatá rozhodnutí a úkoly. Jedná se o zachycení různých pokynů, údajů a informací, které jsou doručované podřízeným, anebo od nich přijímané ústní formou, nebo přes spojovací prostředky.

#### **4.4.5. Postup při nálezu pohřešované osoby**

Při nálezu pohřešované osoby velitel prvku sestavy, sektoru, úseku, složky IZS nebo jiný subjekt provede vyrozumění velitele pátrací akce a provádí nebo organizuje neodkladná opatření, která spočívají v poskytnutí nebo zajištění první pomoci, předběžné prohlídky místa nálezů. Dále provádí opatření k zabránění škodlivých následků, uzávěru místa, zajišťuje ochranu stop věcných důkazů před jejich znehodnocením. O všech opatřeních neprodleně informuje velitele pátrací akce, zejména pak o stavu hledané osoby, o opatřeních, která provedl na místě a o opatřeních, která je třeba učinit. Dále se řídí jeho dalšími pokyny.

V případě nálezů zraněné osoby se zabezpečí poskytnutí neodkladné zdravotní pomoci a přivolání zdravotnické záchranné služby, popřípadě letecké záchranné služby. Při jejím přivolání je nutné sdělit pro lékaře relevantní výsledky operativně pátracích činností (např. potřeba inzulinu). V případě vyžádání výjezdové skupiny a po jejím příjezdu na místo policista, který prováděl prvotní úkony na místě, informuje o situaci a provedených úkonech jejího vedoucího.

Rozsah uzavření místa vychází z konkrétní situace na místě. Kritéria pro stanovení rozsahu uzávěry jsou zejména terén (do jaké míry je přehledný nebo nepřehledný). Uzavření místa se doporučuje provést v co nejširším okruhu. Rozsah uzavření místa je v neposlední řadě limitován i množstvím sil a prostředků, které jsou k dispozici. Účelem uzávěry je zabránit přístupu nepovolaných osob, poškození stop a vytvoření dalších podmínek pro záchranu života nebo zdraví pohřešované osoby.

#### **4.4.6. Ukončení pátrací akce**

Ukončení pátrací akce vyhláší velitel smluveným signálem a zpracuje hlášení o její přípravě a průběhu pro následné vyhodnocení. Pokud byla při pátrací akci využita pomoc složek IZS a byla využita věcná nebo osobní pomoc, došlo ke škodám nebo újmě na zdraví zasahujících osob apod., je velitel zásahu povinen ve spolupráci s ředitelem



odboru IZS příslušného HZS kraje zpracovat zprávu o zásahu složek IZS. Zpracování zprávy o zásahu je nutné provést do 14 dnů po skončení zásahu. Jedná se o předtištěný formulář formátu A3, který obsahuje nejzákladnější údaje o zásahu, které je možné vyčíst z deníku pátrací akce. Zpráva o zásahu je úředním dokumentem, na základě kterého dochází k vypořádání zásahu složek IZS. Velitel zásahu obdrží od jednotlivých složek dílčí zprávy o zásahu.

#### **4.5. Využití speciálních sil a prostředků**

Využitím speciálních sil a prostředků se zejména myslí použití:

- služebních psů,
- služebních koní,
- věcné a osobní pomoci,
- potápěčů,
- vrtulníku.

Z hlediska našeho tématu se budeme zabývat pouze posledním speciálním prostředkem pro pátrání po pohřešovaných osobách a sice pátrání za pomoci vrtulníku.

##### **4.5.1. Využití vrtulníků při pátrání [2]**

Provozovatelem policejní vrtulníkové techniky je policie letecká služba (dále jen „LS“). Zabezpečuje především letecké činnosti a nepřetržitou pohotovost vrtulníků pro útvary policie, útvary HZS ČR a ostatní složky IZS. Vrtulníková technika se díky svým vlastnostem, především možnosti pohybu všemi směry, letu v malé rychlosti a výšce či visení nad zvoleným místem, stává účinným a efektivním prostředkem při pátrání, kdy hrozí nebezpečí z prodlení nebo probíhá v těžko přístupných místech.

Základní metody vrtulníkového pátrání se ve většině případů používají ve vzájemných kombinacích tak, aby pátrání bylo co nejefektivnější vzhledem k podmínkám a objektu pátrání. Jedná se o následující metody:

- a) pátrání po přímé trati,
- b) pátrání po rovnoběžné trati,
- c) pátrání po vlnovité čáře,
- d) pátrání po obrazci čtverce,
- e) pátrání po vrstevnicích,
- f) pátrání v sektorech.

Policejní posádky vrtulníků se díky svým zkušenostem a dokonalé znalosti technických možností vrtulníků a doplňkového vybavení aktivně zapojují do organizování a průběhu pátrací akce. Vlastní letovou činnost provádějí zvoleným způsobem tak, aby umožnily pozorovatelům na palubě co nej kvalitnější vizuální kontakt s propátrávaným prostorem.

#### Základní způsoby pátrání z vrtulníku

- a) **přímé vizuální pátrání** - je vhodný k realizaci na velkých rovinatých a přehlednějších úsecích zejména s malou vegetací. Postup je velice rychlý a lze propátrat poměrně široké pásy terénu. Využívá se při pátrání nad vodními plochami, kde je zvláště nutné přizpůsobit rychlost a výšku letu objektivním podmínkám. Přímé vizuální pátrání je rovněž vysoce účinné v zimních měsících, při sněhové pokrývce, na níž jsou velmi dobře viditelné trasologické stopy,
- b) **vizuální pátrání s nočním světlo metem** - v nočních hodinách je možno použít na vrtulnících silný noční světlo met k širokému či bodovému osvětlení terénu, budov nebo k prosvícení nižší vegetace či lesního porostu. Způsob je účinný především tehdy, jestliže je rozsah pátrání malý nebo jestliže byl výskyt objektu pátrání upřesněn, 13
- c) **pátrání s využitím zařízení FLIR** - je velmi účinné zejména v chladnějších měsících či v denní době bez přímého slunečního svitu. Jedná se o optoelektronické zařízení umožňující snímání a uchování barevného obrazu nebo obrazu rozdílů tepelných hodnot (termovize). Jeho účinnost je vysoká zejména v případech konkretizace místa výskytu objektu pátrání. Při propátrávání velké plochy je ovšem nezbytné počítat s delší dobou. Zařízení se účinně využívá při preventivních pátracích akcích.



*Obrázek 4.3 – vrtulník Policie České Republiky [7]*

Faktory ovlivňující pátrání a efektivní nasazení vrtulníků

- a) **Včasnost zahájení pátrání** - jedná se především o minimalizaci časové prodlevy mezi zahájením pátrací akce a dosažením místa pátrání policejním vrtulníkem. Zejména je si třeba uvědomit, že osoba či osoby jsou pohybujícím se objektem pátrání. Z toho vyplývá potřeba rychlé asistence vrtulníku k propátrání určité oblasti, která se úměrně s časem několikanásobně zvětšuje. V tomto směru má nezastupitelnou úlohu velitel pátrací akce a jeho základní vstupní informace při vyžadování vrtulníku nebo upřesnění jeho úkolu v době přeletu,
- b) **Kvalita a úplnost prvotní informace** předané dispečinku LS při vyžadování asistence vrtulníku výrazně ovlivňuje jak rychlost zásahu vrtulníku, tak i schopnost posádky splnit předpokládané úkoly, neboť na základě těchto informací se rozhoduje o nejvhodnějším typu vrtulníku a a jeho doplňkovém vybavení. Ve většině případů je již v průběhu přeletu navazováno radiové spojení k upřesnění místa přistání a další činnosti,
- c) **Předletový rozbor situace** – krátký rozbor situace v místě pátrání, realizovaný v součinnosti posádky vrtulníku, velitele akce, případně pátračů, má za cíl stanovit metody pátrání, postup, upřesnit kritická místa dohodnout spojení s pozemními složkami apod.,
- d) **Trvalé oboustranné spojení** – spojení posádky vrtulníku s pozemními silami a prostředky je základní potřebou. Pátrač, který společně s posádkou

provádí vizuální kontrolu terénu a usměrňuje jak přelety vrtulníku, tak zejména pozemní síly, musí mít dokonalý přehled o možnostech radiového spojení, o počtech radiostanic a jejich rozmístění,

- e) **Zkušenosti policisty** (pátrače) – pro jeho činnost jsou důležité zejména, místní znalost, schopnost dobré orientace, znalost možnosti spojení, znalost všech souvisejících okolností a vlivů, schopnost odhadu předpokládaného chování objektu pátrání. Musí být seznámen s vrtulníkem jako leteckým prostředkem, s jeho charakteristickými vlastnostmi, aby nebyl překvapen chováním vrtulníku za letu, aby sám dokázal pilotovi sdělit informace umožňující volbu rychlosti, výšky a manévru nejlépe vyhovujících subjektivním schopnostem pátrače nebo k tomu účelu zřízené operativní skupiny, která ve spojení s vrtulníkem prověřuje v terénu získané poznatky z letu.

Objektivními podmínkami pátrací akce je především geografické prostředí teritoria pátrací akce, stupeň zástavby, rozsáhlost lesních porostů, fáze vegetace, roční a denní doba, meteorologické podmínky (zejména sluneční svit, dohlednost, srážky) apod.

Postup při vyžadování a schvalování letů. Z hlediska naléhavosti požadavků lze lety rozdělit zejména na:

- a) akce na záchranu života, odvracení hrozícího nebezpečí, pátrací akce po osobách, nebezpečných pachatelích (na akce tohoto charakteru, není třeba žádného předběžného požadavku či schválení),
- b) pátrací akce směřující k objasnění trestných činů, k nalezení důkazů,
- c) letové akce zajišťované na základě plánů letů, jako jsou preventivní bezpečnostní akce, výcvikové a instruktážní akce.

V situaci, kdy hrozí nebezpečí z prodlení je velitel akce oprávněn vyžádat let bezprostředně po vzniku dané situace. Je třeba využít nejrychlejšího spojení k vyžádání vrtulníku (např. telefonní síť, radiová síť, dálnopis, fax apod.) toto vyžádání dodatečně potvrdit písemnou formou. V požadavku na let je třeba specifikovat:

- a) požadovaný typ vrtulníku, podle předpokládané letové činnosti, předpokládaného počtu přepravovaných osob či nákladu a požadované výbavy,
- b) pracovníka řídícího akci a telefonické nebo jiné spojení, které je nutné pro upřesnění a ověření požadavku,
- c) vyžadující útvar, kdo požadavek schválil, či z jakého limitu je hrazen,
- d) datum a čas letu,
- e) místo přistání, orientační body v místě přistání,
- f) místo, prostor, ve kterém bude letová činnost prováděna, specifikace terénu,
- g) počasí v místě přistání,
- h) předpokládanou dobu trvání akce,
- i) letovou činnost (výsadky, pátrání, thermovize, práce s jeřábem, přeprava nákladu, fotografování, u záchranných letů počet pacientů - ležících, sedících, lékařský nebo zdravotnický doprovod, přístrojové vybavení apod.).

Letecká služba policie má součinnostní dohody s HZS ČR o zabezpečení nepřetržité pohotovosti hasičů-lezců vycvičených pro práci pod vrtulníkem při záchranných pracích, případně může povolat obdobně vycvičené příslušníky policie. Pokud při pátrací akci na záchranu osob vyvstane potřeba lezců nebo je vzhledem k terénu velmi pravděpodobná, je vhodné již při zadávání požadavku požádat o lezce. Vrtulník tak může po doletu na místo zasáhnout ihned, bez mezipřistání.

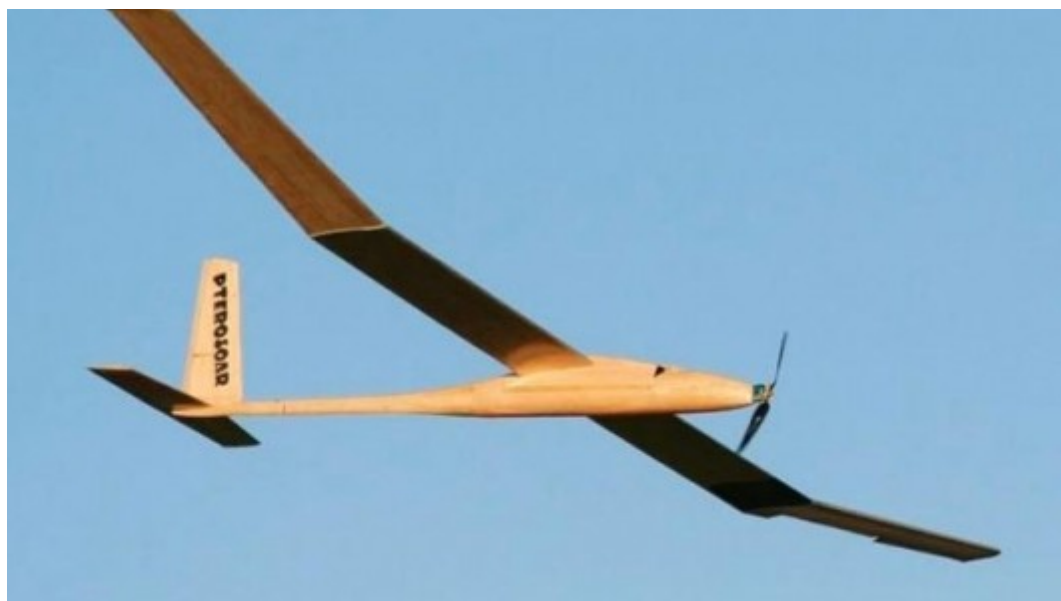
#### **4.5.2. Využití věcné a osobní pomoci**

Posledním způsobem pomoci IZS je pomoc osobní od právnické či fyzické osoby provozující předmět podnikání či vlastnictví, kterým je schopen pomoci při pátrání po pohřešované osobě v dané lokalitě. V případě nutného vypořádání škod, náhrad, úrazů a podobných událostí, které vznikly při pátrací akci na záchranu osob, se pak postupuje podle zvláštního zákona, a sice §10 odst. 2 písm.g) zákona č. 239/2000 Sb.

## 5. Použití bezpilotních letounů pro pátrání

V dnešní době slyšíme o bezpilotních letounech zejména ve spojení s armádními aktivitami zejména zemí, jako jsou Spojené státy Americké a Izrael. Izrael dokonce distribuuje své útočné bezpilotní letouny do ostatních zemí. Jedná se především o země západní Evropy, v poslední době se nejvíce diskutuje o koupi útočných bezpilotních letounů do Německa. Dalším nejčastějším využitím této létající technologie je opět oblast armádního létání, nejedná se však o útočné akce, nýbrž o průzkum či špionážní činnost. Nově se v poslední době mluví o přepravní činnosti bezpilotních letounů, kde by měli v budoucnosti zásobovat například vojáky v boji municí, či jinými věcmi k jejich potřebě. Nejnovější bezpilotní letoun je schopen letět s nákladem o hmotnosti až dvě tuny. Tento letoun je také prvním bezpilotním letounem, který odstartoval z letadlové lodě. Jeho označení je X-47 B a je to pouze prototyp, který bude sloužit k dalším pokusům. Cílem tohoto projektu je vyvinout bezpilotní letoun, který je schopen jak vzletu z letadlové lodě, tak i přistání zpět na letadlové lodi.

Náš případ použití bezpilotního letounu je užít tohoto létajícího prostředku k pátrání po pohřešovaných osobách, jak už jsem několikrát zmiňoval. Pro tento případ se zdá kompilace 4 bezpilotních letounů konstrukce se záporným šípem (viz obrázek 5.1.) a jedné kvadrokoptéry (viz obrázek 5.2.), jako optimální možnost rozložení funkcí pro pátrání po pohřešovaných osobách.



*Obrázek 5.1 – UAV se záporným šípem [5]*

Výše uvedené dva druhy bezpilotních letounů máme z důvodu, abychom mohli kombinovat funkce jednotlivých letounů. Každá z těchto dvou skupin má své výhody a nevýhody. Výhodou bezpilotních letounů se záporným šípem je bezesporu jeho rychlost (80 km/h) mluvíme o airspeed to znamená, že zde není započítána rychlost větru. Nevýhodou tohoto letounu je malá manévrovatelnost ačkoliv, jak bylo řečeno v úvodu je schopen točit zatačku s náklonem 45°. Hlavní výhodou kvadrokoptéry je, že je schopna jako správný vrtulník levitovat na místě a letět v celkem malé výšce. Nevýhodou tohoto letounu je celkem nízká rychlost, jak jsme si určili v úvodu. Dalším problémem, se kterým se budeme bohužel muset setkávat je, že tento letoun je poháněn akumulátorem a ten mám v celku malou výdrž. Počítáme zhruba s výdrží baterie něco okolo 30 ti minut.



*Obrázek 5.2 – UAV v konstrukci kvadrokoptéry [6]*

Výhody a nevýhody bezpilotních letounů z naší dostupné flotily jsme si tedy už objasnili. Nyní se budeme hlouběji zabývat jejich funkcí při vyhledávání pohřešovaných osob v terénu.

Dále musíme zmínit důležitou součást tohoto týmu bezpilotních prostředků a to je řídicí středisko, které je řízeno obsluhou definovanou v úvodu této práce. To znamená, že naše bezpilotní letouny budou ovládány a s částí řízeny pomocí dvou čelních obsluhy, kteří budou mít také na starosti vybudování řídicího střediska skupiny bezpilotních letounů UAS – Unmanned aerial systém.

**UAV se záporným šípem má následující funkce:**

- Prohledat prostor daný plánem pátrací akce
- Komunikovat s řídicím střediskem
- Označit možná místa výskytu pohřešované osoby

**UAV v konstrukci kvadrokoptéry má tyto funkce:**

- Prohledat oblasti určené UAV se záporným šípem
- Identifikovat hledaný cíl (pohřešovanou osobu)
  - Výstupem identifikace musí být jednoznačná odpověď, zda se jedná o hledanou osobu či ne.
- Komunikovat s řídicím střediskem

**Řídicí středisko má funkce:**

- Udávat pokynu UAV se záporným šípem
- Udávat pokynu UAV v konstrukci kvadrokoptéry
- Vyhodnocovat informace poskytnuté snímači na UAV
- Určovat trasu pohybu UAS (prognózovat trasu)

Nyní známe jednotlivé funkce jednotlivých částí systému bezpilotních letounů a můžeme se pustit k pravému jádru naší věci, kterým je predikce polohy tohoto systému.



## 6. Analýza možností prognózování letu UAV

V následující kapitole se budeme zabývat několika možnostmi prognózování letu bezpilotních letounů při pátrání po pohřešovaných osobách v terénu. Pohyb letounu jako takového můžeme úplně jednoduše rozdělit od tří fází:

- Vzletová fáze (start)
- Letová fáze
- Přistání

Po tomto rozdělení zjistíme, že pokud budeme řešit pohyb kvadrokoptéry, tak zde nebude žádný problém ani v jedné fázi, jelikož její konstrukce je řešena čtyřmi rotory, které zabezpečí jednoduchý vzlet z místa a také bezpečné přistání zpět na místo. Potíže ovšem nastávají při startu a přistání bezpilotních letounů se záporným šípem. Tyto letouny se jenom tak jednoduše nevznosou do vzduchu jako kvadrokoptéra.

### 6.1. Start UAV se záporným šípem

Problémem UAV se záporným šípem je, že jako každý letoun s křídly potřebuje pro vzlet, aby se pod křídly vytvořil vztlak, jak je uvedeno na obrázku 6.1. Tento dynamický vztlak získáme uvedením UAV do dopředného pohybu. Jelikož v našem projektu nepočítáme s žádnou vzletovou dráhou či zařízením pro vzlet, jako mohou být katapult či raketové odpalovací zařízení, musíme si pomoci jiným způsobem. Problémem, který tedy nastává je, že potřebujeme dodat UAV takovou kinetickou energii, aby vznikla potřebný dynamický vztlak.



Obrázek 6.1 – schéma pro působení sil na křídlo [7]

Ve svém uvažování jsem nejprve pracoval s myšlenkou nějakého katapultu ve smyslu praku, ale to se mi zdálo velice riskantní z hlediska křehkosti zařízení, se kterým

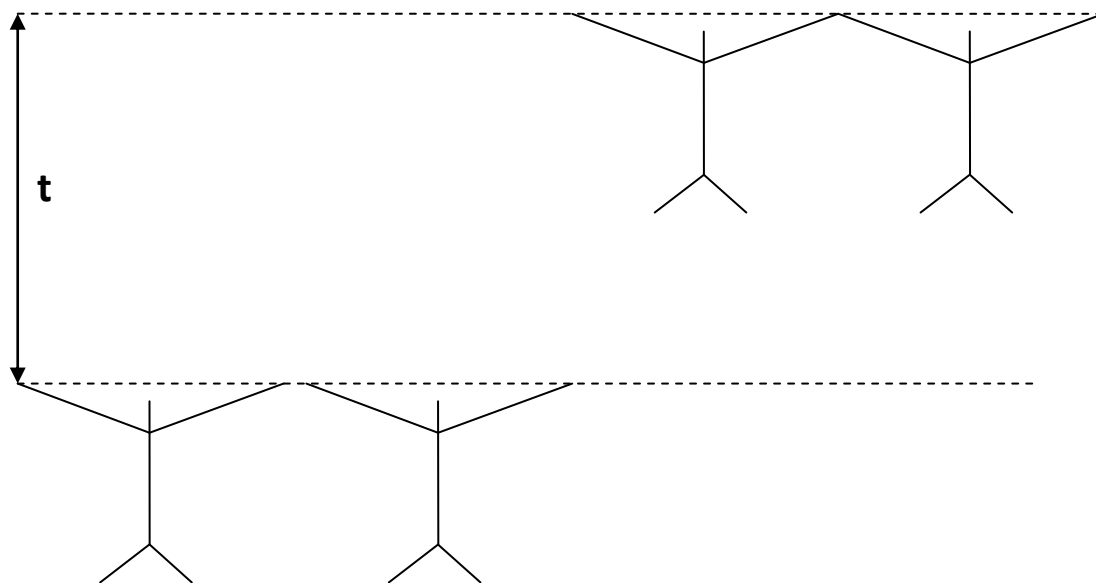
chci manipulovat. Po zhlédnutí několika videí na serveru Youtube, jsem přišel k velice jednoduchému řešení tohoto zapeklitého problému. Rozhodl jsem se, že nebudu celou věc komplikovat žádnou vystřelovací rampou či katapultem, nebo úplně jinou konstrukční záležitostí.

Řešení je jednoduché. Z důvodu toho, že nečekám velkou hmotnost letounu, mluvíme zhruba o hmotnosti do 5 – 8 Kg, může bezpilotní letoun startovat přímo z rukou obsluhy za pomoci pohonné jednotky bezpilotního letounu. Tato procedura je demonstrována na obrázku 6.2 vojákem.



*Obrázek 6.2 – start UAV přímo z rukou obsluhy [8]*

Jediným problémem tohoto řešení je počet bezpilotních letounů se záporným šípem. Tyto letouny jsou totiž 4 a obsluha je pouze dvoučlenná. Jelikož nechceme, aby se letouny zdržovali ve nějakém vyčkávacím obrazci nebo na sebe někde čekali, než se sletí, budeme tedy počítat s časovým zpožděním mezi starty, a tudíž s tímto zpožděním budeme počítat i při přípravě predikce polohy skupiny těchto bezpilotních letounů se záporným šípem. Tuto situaci si můžete představit díky následujícímu obrázku, kde veličina  $t$  reprezentuje onen čas zpoždění stratu, které je mezi oběma dvojicemi bezpilotních letounů se záporným šípem.



Obrázek 6.3 – schéma zpoždění startu UAV

Jelikož už jsme se seznámili s tím, jak budou naše UAV se záporným křídlem startovat ke své misi vyhledávání pohřešované osoby v terénu, můžeme se uchýlit k dalšímu problému, a sice k přistání tohoto prostředku na zem.

## 6.2. Přistání UAV se záporným šípem

Přistání UAV se záporným šípem proběhne zcela jednoduchým způsobem. Bezpilotní letoun při návratu k místu startu bude mít naprogramovaný bod (v letecké terminologii bychom jej mohli označit jak FAF – final approach fix, což znamená, že to je bod konečného přiblížení), kde vypne motor a doplachtí k obsluze, která se jej bude snažit zachytit. V tomto ohledu je důležité nastavení ovládacích plošek letounu, tak jako by se normální letoun chystal na přistání. Dále je důležitá ideální redukce rychlosti. V ideálním případě by měl být schopen letoun přistát sám, ale jelikož bude startovat z rukou obsluhy, tak nepředpokládáme vhodný terén pro samostatné přistání tohoto letounu.

Dalším důležitým aspektem této problematiky je umístění bodu, kde je vypnut motor a letoun doplachtí k obsluze. Tento bod o souřadnicích  $[x, y, z]$  se musí nacházet v takovém místě a výšce, aby byly zohledněny tyto faktory:

- Rychlost a směr větru
- Vzdálenost od místa obsluhy (místo přistání)
- Schopnost obsluhy reagovat na změnu letu UAV

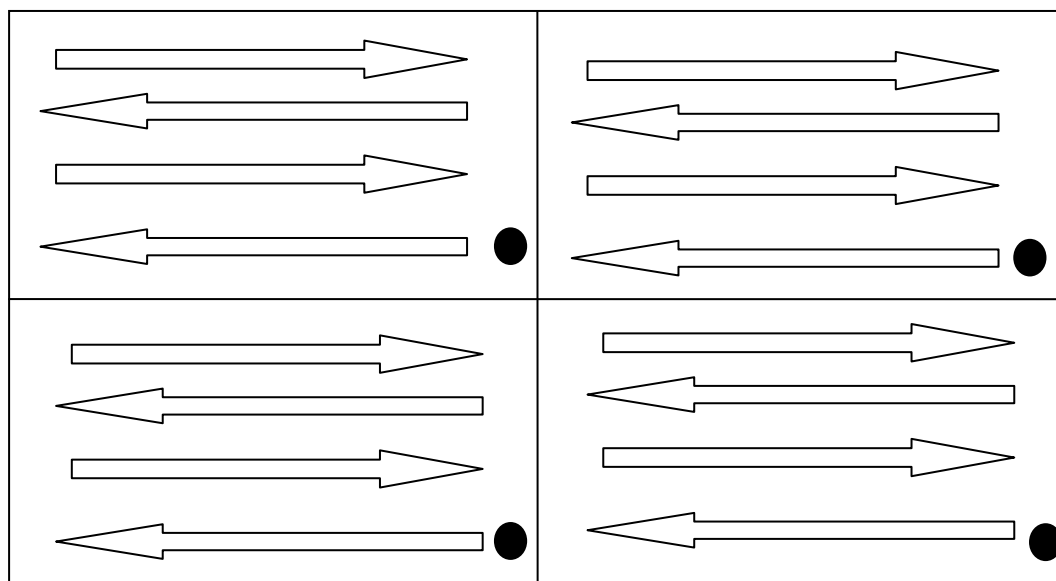
Už známe, jak naše letouny budou vzlétat a přistávat, to znamená, že se můžeme pustit do problematiky prognózování letu.

### 6.3. Možnosti predikce polohy UAS

Při řešení otázky možností prognózování letové fáze bezpilotních letounů jsem přišel na dvě základné filosofie řešení. Jednou z těchto filosofí je rozdělit prohledávaný prostor daný plánem pátrací akce na určité sektory, pokud to topologie terénu umožní o stejné velikosti. Druhým způsobem predikce by byl pohyb čtyř UAV se záporným šípem ve formaci. V této formaci by systematicky prohledali celý prostor daný plánem pátrací akce.

#### 6.3.1. Rozdělení prostoru na sektory

Pojďme se tedy věnovat první ze dvou filosofí řešení. Rozdělením prostoru na čtyři pokud možno stejné díly získáme čtyři nové samostatné prostory. V každém z těchto prostorů by potom, jeden z bezpilotních letounů se záporným šípem prováděl systematické prohledávání tohoto sektoru. Tuto situaci nám modeluje následující obrázek.



Obrázek 6.4 – schéma rozdělení prostoru na sektory

Černé puntíky na obrázku 6.4. reprezentují základní postavení bezpilotních letounů se záporným šípem při začátku prohledávání. Šipky nám potom znázorňují směr pohybu letounu. Přičemž na konci každé šipky dojde k provedení zatáčky o 180°.

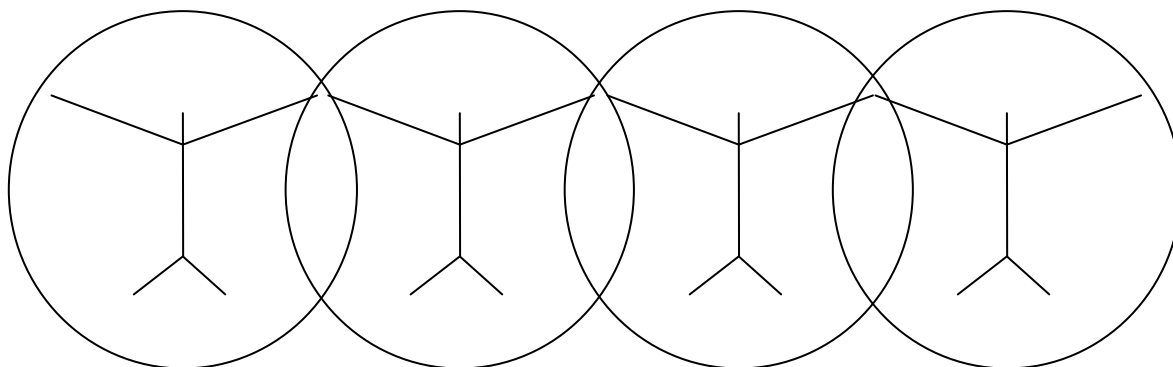
Tato filosofie má ovšem dost nevýhod. Jendou z velkých nevýhod je, že tento model není dostatečně pružný a není schopen reagovat na změny situace. Kdybychom chtěli operativně změnit systém vyhledávání nebo dokonce oblast museli bychom letouny složitě přeskupovat, nemluvě o spotřebovaném času při tomto přeskupování, jelikož jak dobře víme tento čas je dost nemilosrdně omezen zhruba na 30 – 40 minut letu. Dalším problémem se může zdát časování, a koordinace letounů. My totiž víme, že letouny budou do vzduchu poslány s určitým zpožděním a počáteční pozice každého letounu je jiná a tak se konce základního prohledávání a tudíž i časy získání výstupu mohou lišit až o několik minut. Posledním závažným problémem bych shledal to, že už nějakou dobu bude trvat, než se bezpilotní letoun dostane vůbec do počáteční pozice pro vyhledávání. A to je s ohledem na razantní omezenost doletu nepřipustné.

### **6.3.2. Pátrání ve formaci**

Pátráním ve formaci se rozumí vzdušné uspořádání letounů do určitého obrazce v závislosti na:

- Velikosti prohledávané oblasti
- Tvaru půdorysu oblasti
- Členitosti terénu

Většinou jak tomu tak bývá je prohledávaná plocha oblasti rovna největší možné, což v našich podmínkách znamená 10 x 10 km. To by znamenalo, že bychom chtěli co nejvíce roztáhnout úhel záběru snímačů a proto by formace vypadala zhruba, jak je vyobrazená na následujícím obrázku.

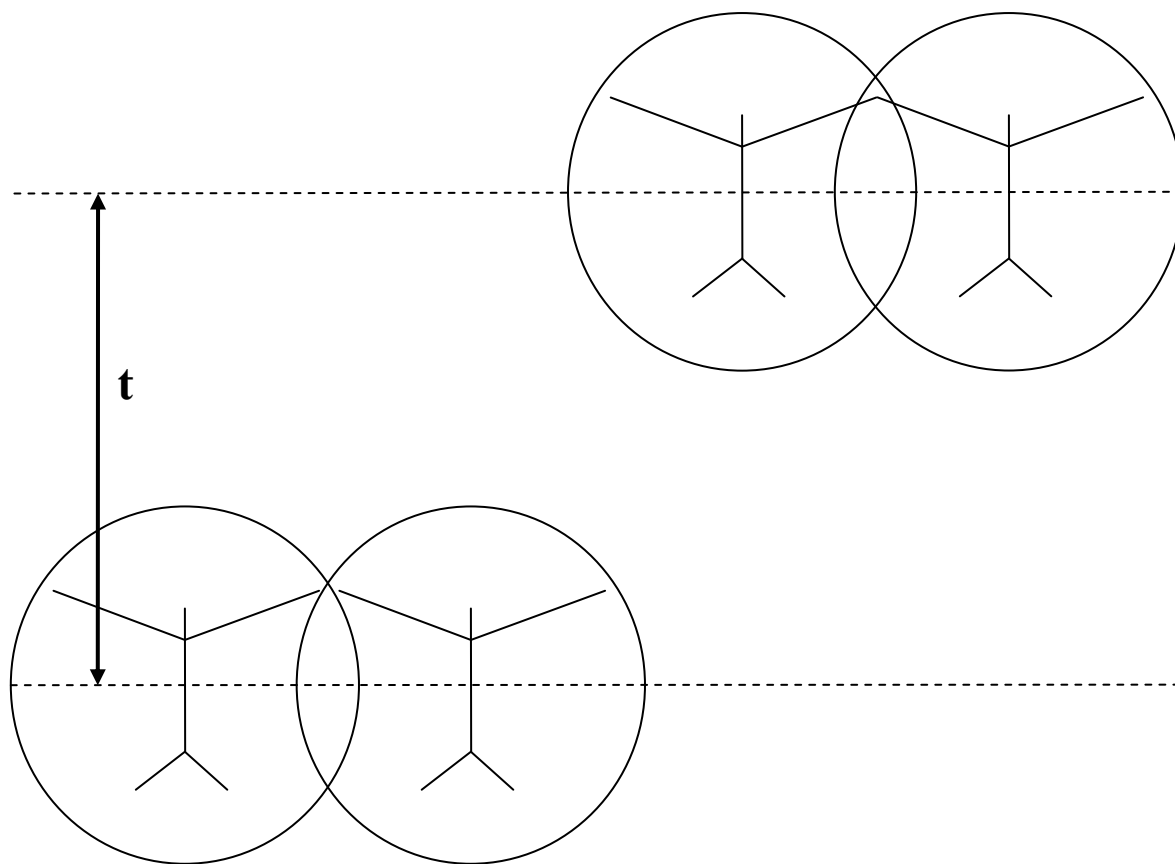


*Obrázek 6.5 – formace 4 UAV se záporným šípem*

Na obrázku 6.5 vidíme formaci UAV se záporným šípem, kdy chceme, aby měli co největší úhel záběru, proto jsme je postavili přímo vedle sebe. Ale my chceme také nějakou záruku přesnosti, a proto se ty kružnice, které mimochodem znázorňují plochu záběru snímače každého z bezpilotních letounů, překrývají.

Let ve formaci je pružný a dá se rychle a hlavně za pochodu měnit, což je jeho velkou výhodou hlavně s ohledem na dolet. Dále na rozdíl od letu v sektorech všechny letouny začínají vyhledávání na plus mínus stejném místě. Záleží na jaké pozici se ve formaci nachází.

Nesmíme ovšem zapomenout na náš problém se startem. Zde je problém vyřešen už předem díky tomu, že letouny letí prakticky pohromadě a tudíž se zpoždění, které je dáno našim poměrně krkolomným startem, nebude zvětšovat. Letouny totiž poletí, jako by letěli ve formaci vedle sebe, akorát prakticky poletí ve dvojících, jejichž pohyb když by se nakonec spojil vznikl by pohyb čtyřčlenné formace letounů. Tato pseudoformace je znázorněna na obrázku 6.6.



Obrázek 6.6 – formace posunutá o zpoždění  $t$

Hodnota  $t$  na obrázku 6.6 reprezentuje zpoždění při stratu obou skupin UAV. Pokud máme představivost a dokážeme si představit, že se ta horní dvojice zastaví, aby jí ta spodní dvojice UAV doletěla, potom zjistíme, že získáme totožný obrázek s obrázkem 6.5.

## 7. Výběr a návrh prognózování letu UAV

Jak už je asi patrné z mých argumentů v předcházející kapitole, pro prognózování letu bezpilotních letounů jsem si vybral filosofii řešení pomocí letu UAV se záporným šípem ve formaci. Rozhodl jsem se tak hlavně díky argumentům o spotřebě paliva respektive doletu.

Dále si rozdělíme letovou fázi bezpilotních letounů na několik případů, ve kterých se můžou ocitnout. Dva jsou přímo spojeny s členitostí terénu a jeden s typem pátrací akce, na kterou je UAS povoláný. Jsou to:

- Systematické prohledávání pátracího prostoru
- Prohledávání hornatého prostoru letem po vrstevnici
- Prohledávání určité přímé trasy

Všechny tyto procedury mají jednoho společného jmenovatele, a sice to, že UAV se záporným šípem provedou prohledávání a kvadrokoptéra následnou identifikaci určeného cíle.

Dalším společnou vlastností všech je, že vyhledávání vždy začne v největší možné výšce nad zemí, která je shora omezená hodnotou 400 m nad zemí v dané oblasti. Výšku budeme vždy volit dle následujících určujících faktorů:

- Terén
  - Tím mám na mysli hlavně výšku překážek, nad kterými musí být bezpilotní letoun minimálně 30m vysoko.
- Počasí
  - Déšť, sníh a další vlivy, které mohou zhoršit spolehlivost snímače.
  - Dále je důležitá také výška základny oblačnosti, jelikož UAV nemohou letět v mraku.
- Čas
  - Čas musíme hlavně zohlednit, pokud by mohlo dojít ke stmívání po dobu vyhledávání.

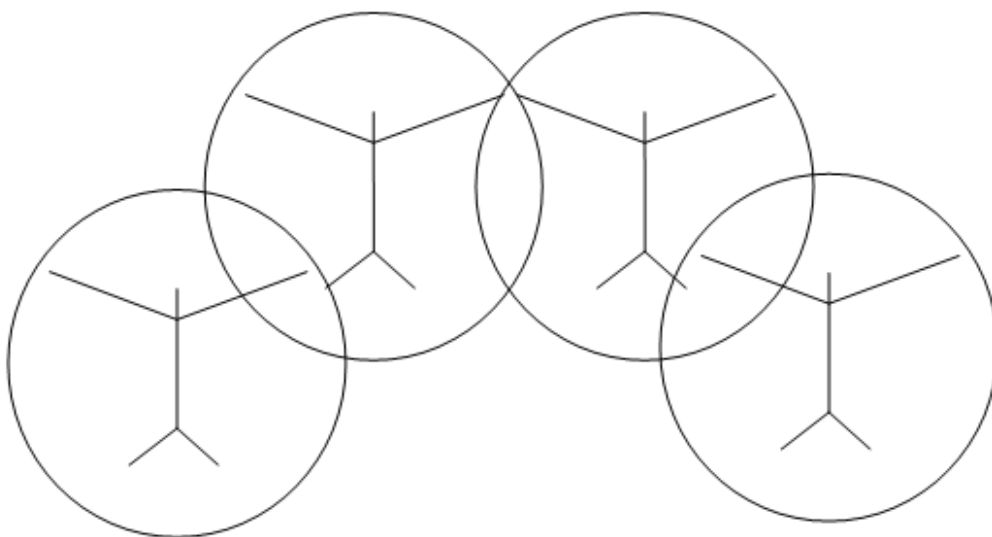


## 7.1. Prohledávání po přímé trase

Začneme tedy tím nejjednodušším případem, kdy máme plánem pátrací akce danou přímou trasu, na které se pohřešovaná osoba ztratila a kterou tudíž máme prohledat. Celá procedura proběhne následujícím způsobem:

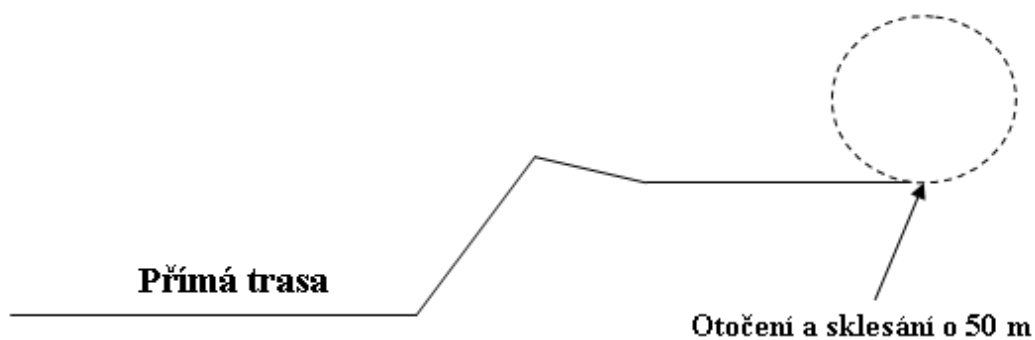
- Letouny poletí ve formaci ve tvaru V (obrázek 7.1), aby byla velká pravděpodobnost zaměření hledaného subjektu. To znamená, že se budou ve formaci dost překrývat.
- Rozestupy ve formaci se určí s ohledem na ty okolního terénu (terénu kolem cesty = přímé trasy zadané plánem pátrací akce)

Samotné prohledávání potom proběhne, jak již bylo řečeno výše, v co největší možné výšce.



*Obrázek 7.1 – formace pro vyhledávání po přímé trati*

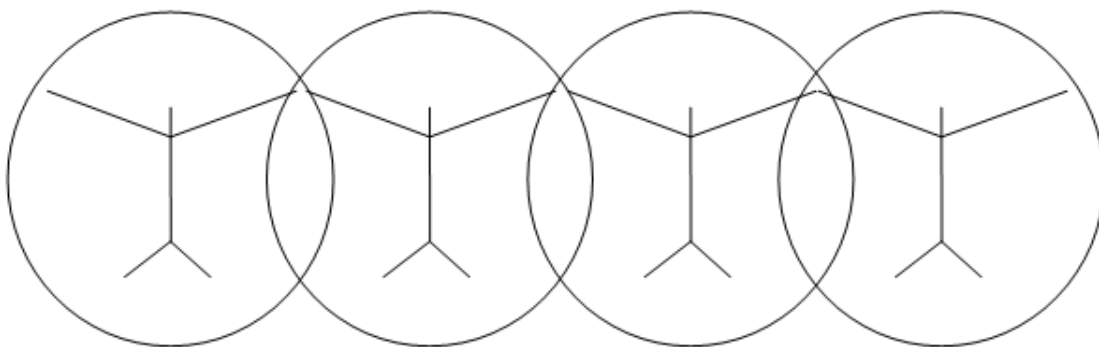
Dále po dokončení prvního prohledávání dané tratě, letouny na konci udělají obrat o 180°, při kterém sklesají o 50m níže a provedou vyhledávání ve stejné formaci akorát opačným směrem. Mezitím, pokud byly označeny nějaké možnosti výskytu hledaného subjektu, tak na toto místo vylétává kvadroptéra zhodnotit skutečnou situaci. Schéma tohoto vyhledávání můžete vidět na obrázku 7.2.



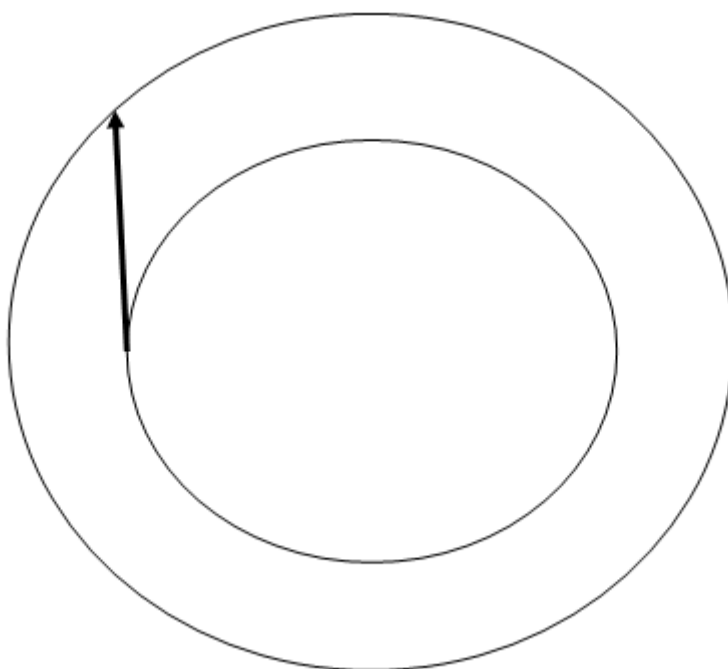
Obrázek 7.2 – schéma pátrání po přímé trati

## 7.2. Pátrání letem po vrstevnici

Je-li pátrací oblast kopcovitého rázu potom se vyplatí vyhledávat letem po vrstevnici. Let bude probíhat ve vodorovné formaci a bude-li zapotřebí většího úhlu záběru než je možno zajistit, že letouny poletí pohyb po vrstevnici několikrát, dokud neobletí celou oblast. Zkusíme si tuto složitou situaci prakticky vysvětlit na následujícím schématu. Představme si horu, kterou abych prohledal směrem po vrstevnici, musím obletět dvakrát. Potom budu postupovat podle následujícího plánu.



Obrázek 7.3. – formace UAV vedle sebe 1



*Obrázek 7.4 – let po vrstevnicích*

Jakmile UAV se záporným šípem ukončí vyhledávání na jedné vrstevnici, přeletí na takovou rovnoběžnou vrstevnici, která v nižší nadmořské výšce nežli ta stávající. Dále je důležité o kolik vrstevnic formace přeletí? Na tuto otázku je relativně jednoduchá odpověď. My totiž známe rozměr, ve kterém celá formace zabírá prostor pod sebou snímačem, a tudíž se posune celá formace přesně o ten rozměr směrem níže po vrstevnici a znovu provede vyhledávání letem po vrstevnici.

U této metody prohledávání je důležité si uvědomit, že každý letoun operuje v různé výšce a tudíž je důležité nepodcenit přípravu na toto vyhledávání, aby nedošlo ke srážce letounů při změně oblastí vrstevnic. Důležité je také pomyslet na rychlost, neboť pokud chci dodržovat formaci, tak je logické, že letoun letící výše musí letět pomaleji, neboť vrstevnice jeho trasa kolem vrstevnice je kratší. Rozestup a překrývání oblastí záběru záleží na členitosti terénu a na naší potřebě spolehlivosti údajů a taky času od posledního vidění pohřešované osoby.

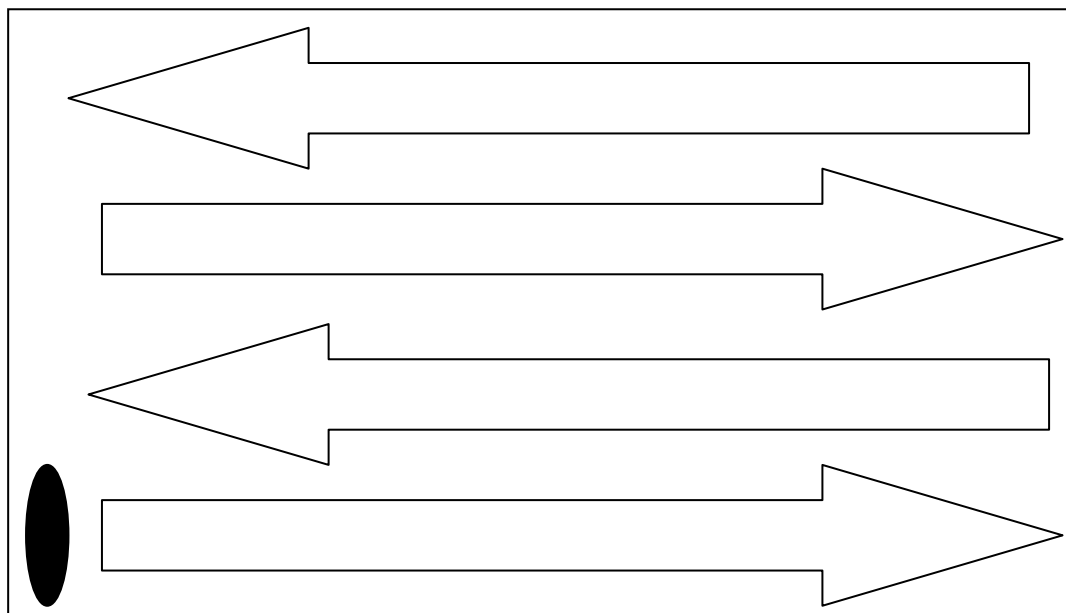
Jestliže letouny našli nějaká místa, kde by se mohla nacházet pohřešovaná osoba, tak okamžitě vyletí kvadrokoptéra tyto místa prozkoumat popřípadě identifikovat hledanou osobu, či vyvrátit podezření z výskytu hledané osoby v dané lokalitě.

### 7.3. Systematické pátrání prostorem

Tato metoda se bude používat ve většině případů pátracích akcí v naší Republice, jelikož tomu odpovídá členitost terénu na většině území České Republiky. Způsobem systematického pátrání se postupuje v rovinatých terénech o značné rozloze.

Pátrání probíhá ve formaci takzvaně vedle sebe, jak tomu bylo i u předchozího případu to znamená, že formace bude vypadat přesně jako na obrázku 7.3. Systematické prohledávání bude potom probíhat tak, že letouny poletí ve formaci po okraji delší strany území vymezeného plánem pátrací akce. Když doletí formace bezpilotních letounů se záporným šípem nakonec oblasti, udělají obrat o  $180^\circ$  směrem dovnitř prohledávaného území a budou prohledávat dále. Jakmile tímto způsob prohledají celou oblast, vrátí se opět na začátek, kde začínali prohledávat, při návratu sníží výšku o 50m a provedou celou proceduru znova.

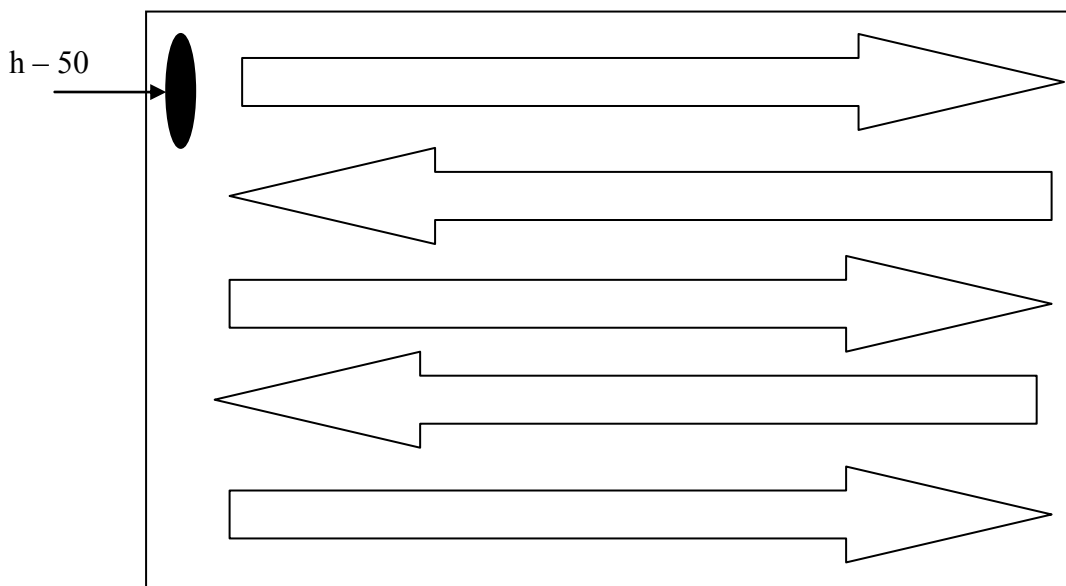
Vyhodnotí li řídicí středisko, že by bylo výhodnější než vracet se na místo začátku pátrání, udělat obrat o  $360^\circ$  a při něm sklesat o těch našich 50m, potom je i tato varianta možná. Je –li oblast velká, budou nejspíše mezi každým sklesáním muset letět tyto letouny natankovat palivo.



Obrázek 7.5 – schéma systematického prohledávání

Černá značka na schématu nám určuje počáteční postavení formace bezpilotních letounů před vyhledáváním. Ze schématu jasně vyplývá, že první fáze vyhledávání skončí

na konci vrchní šipky, kde je třeba si uvědomit, zda je výhodnější se vracet na počátek vyhledávání či se otočit o 360° a provést vyhledávání opačným směrem ve výšce o 50m nižší, jak je zobrazeno na obrázku 7.6.



*Obrázek 7.6 – systematické pátrání opačným směrem*

Na tomto obrázku lze dobře demonstrovat, že snížíme-li výšku, sníží se nám i oblast záběru formace snímačem kamery. A tudíž se prodlouží i doba prohledávání. A tento jev my nikdy vidět nechceme, jelikož by se mohlo stát, že nám letoun spadne z nedostatku paliva. Proto zavádíme opatření krácení území.

### **Krácení území**

Krácením území se myslí, že z mapy vynecháme území, na jehož části nebylo nalezeno žádné místo, kde by se s určitou pravděpodobností mohla nacházet hledaná osoba. V nejhorším případě se stane, že v první fázi hledání nenajdou bezpilotní letouny se záporným šípem žádné nebo příliš malý počet míst s příliš malou pravděpodobností. Potom se bude druhá fáze, pokud nelze vykonat najednou, muset rozdělit na dvě nejlépe stejné části a prohledat zvlášť. V tomto případě kvadrokoptéra vyletí, až pokud se najde nějaké místo v druhé fázi hledání. Kvadrokoptéra poletí hned když UAV se záporným šípem ukončí první část druhé fáze, tedy samozřejmě bude-li kladná odezva hledání.

## 8. Základní model predikce polohy UAV

V následujících kapitolách si ukážeme, jak bude vypadat jednoduchý model pohybu bezpilotních letounů pro prvotní prohledání prostoru, tedy bezpilotních letounů se záporným šípem pohybujících se rychlostí 80km/h. Dále si ukážeme, jakým způsobem se získává výstup pro kvadrokoptéry. A nakonec se budeme detailně zabývat pohybem kvadrokoptéry, pro kterou nakonec sestavíme matematický model systému jejího pohybu, tedy predikce její polohy.

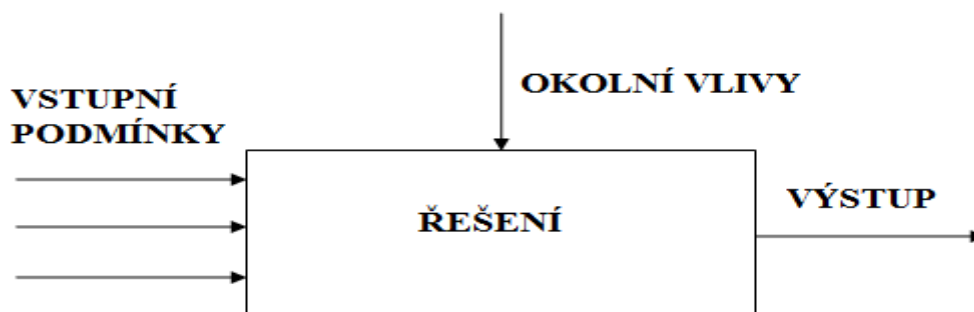
Základní model pohybu UAV se záporným šípem a následně i pohyb kvadrokoptéry si ukážeme na, jak jsem již dříve zmínil, nejčastějším případě vyhledávání. Tímto případem mám samozřejmě na mysli systematické prohledávání oblasti dané plánem pátrací akce. Určíme si i jeho rozměr. Bude to největší možný rozměr, který jsme si dopředu omezili na 10 x 10km.

I když se budeme pohybovat pouze v modelu systematického prohledávání, tak většina úkonů, jako jsou zatáčky a rychlosti letu do zatáček a po rovině či jiné úkony, jsou stejné jako u ostatních případů pátrání.

Každý model ať už jakýkoliv a jakkoliv složitý má následující části:

- Vstupní podmínky
- Okolní vlivy
- Samotné řešení
- Výstup

Vše výše uvedené lze znázornit následujícím schématem.



Obrázek 8.1 – obecné schéma modelu

## 8.1. Jednotlivé části modelu

### 8.1.1. Vstupní podmínky

Mezi vstupní podmínky pro modelování pohybu UAV se záporným šípem patří:

- Typ terénu
- Výšky překážek (musí se pohybovat minimálně 30m nad překážkou)
- Aktuální počasí (pro určení výšky letu, a zda je vůbec možné= za daných podmínek let provést)
- Oblast vyhledávání vymezenou plánem pátrací akce (hlavně vstupní bod, a otočné body)
- Plán pátrací akce
- Typ a charakteristika použitých senzorů (kamera rpo denní a noční vidění, mikrofon pro záznam zvuku)
- Schopnost rozpoznat hledaný objekt (spolehlivost přístrojů)
- Úhel záběru kamery

### Okolní vlivy

- Změny počasí
- Porucha jednoho nebo více UAV
- Porucha monitorovacího zařízení

### Výstup

- Trasa 4 UAV se záporným šípem
- Místa, kde se s určitou pravděpodobností nachází pohřešovaná osoba (informace pro kvadrokoptéru)

## 8.2. Řešení modelu

Model budeme řešit jednoduchou cestou schémat a výpočtů drah a časů pohyb u bezpilotních letounů. Nežli se pustíme do samotného řešení, musíme si nadefinovat funkční závislosti jednotlivých letounů na fyzikálních veličinách a ostatních faktorech.

### 8.2.1. Funkční závislosti

Funkční závislosti 4UAV se záporným šípem a jejich popis:

$$f_1(h, s, GPS(X[x, y]), v_r, v_z, a, T, pokyn \text{ řídícího střediska})$$

$$f_2(h, s, GPS(X[x, y]), v_r, v_z, a, T, pokyn\ řídícího\ střediska)$$

$$f_3(h, s, GPS(X[x, y]), v_r, v_z, a, T + t, pokyn\ řídícího\ střediska)$$

$$f_4(h, s, GPS(X[x, y]), v_r, v_z, a, T + t, pokyn\ řídícího\ střediska)$$

### **Výška**

Výška  $h$  je pro všechny letouny stejná určuje na základě faktorů, které jsou uvedené v předchozí kapitole a mění se po provedené fázi vyhledávání.

### **Dráha**

Dráhu má také každý letoun stejnou, akorát prochází jinými souřadnicemi. Jinak dráhy všech letounů jsou i stejně dlouhé v tomto modelu. Aby nedošlo k předčasnému vyčerpání paliva jednoho z bezpilotních letounů.

### **GPS**

GPS je ve funkční závislosti pouze z důvodu orientace v prostoru, aby se šlo o co opřít při navigaci letounů po trati. Dále patří GPS i do výstupu modelu.

### **Rychlost na rovině**

Veličina  $v_r$  ve funkční závislosti znamená rychlost po rovině a budeme počítat s konstantní hodnotou 80 km/h.

### **Rychlost v zatáčce**

Veličina  $v_z$  ve funkční závislosti reprezentuje rychlost bezpilotního letounu v zatáčce. Tato rychlost bude také pro všechny stejná, neboť budou točit stejnou zatáčku a vypočítáme si ji později.

### **Aktuální čas**

Aktuální čas je znázorněn pouze kvůli problematice stratu a zpoždění dvou UAV při stratu, které je vyobrazeno jako výraz:

$$T + t$$

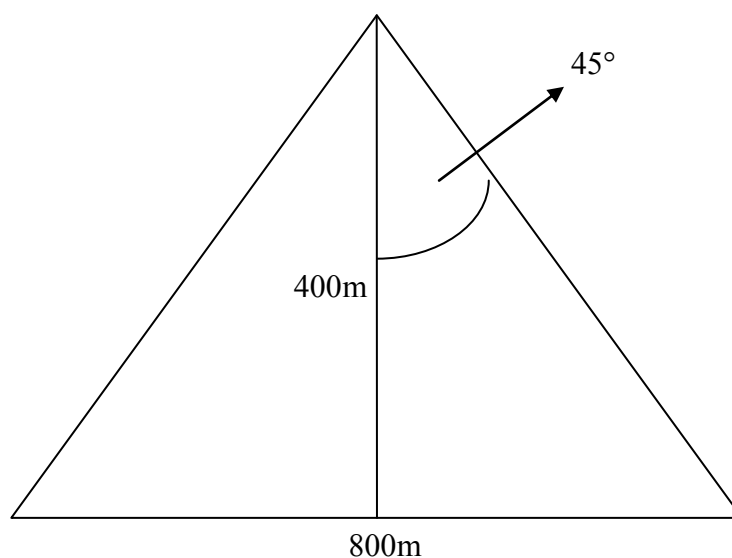


## Oblast záběru kamery

Oblast záběru  $a$  kamery každého letounu je ve formaci stejná a je závislá od výšky letu formace.

### 8.2.2. Konkrétní řešení modelu

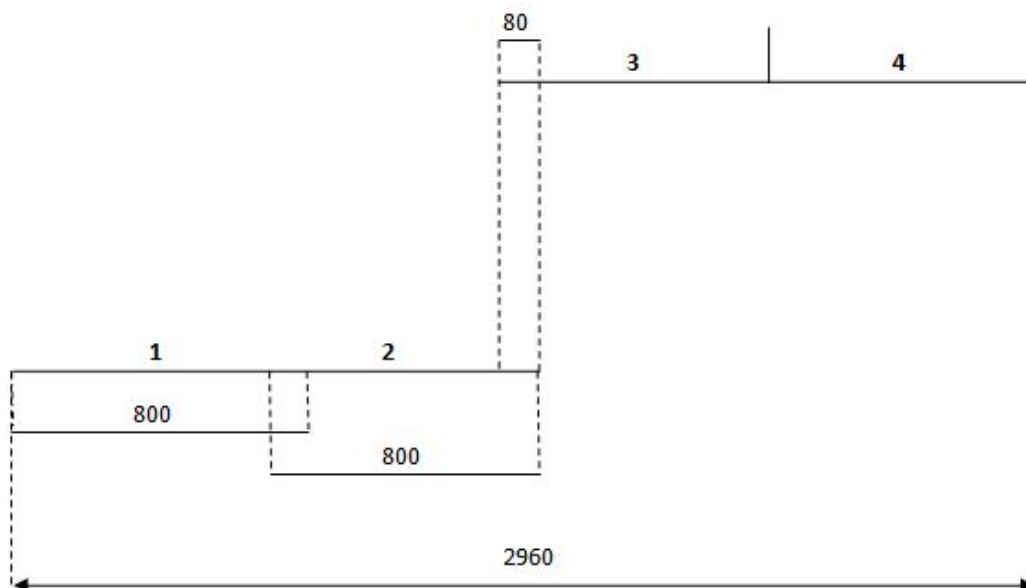
Nejprve si určíme, jak vůbec bude vypadat naše formace. Celou situaci si zjednodušíme tím, že budeme předpokládat ideální letové podmínky pro naši akci. To znamená, že pátrání bude začínat ve 400m nad zemí v oblasti vyhledávání nebude žádná překážka, která by nám komplikovala model. Jak bude vypadat formace si určíme jednoduše. Nejprve zjistíme, jakou oblast záběru má jeden letoun a poté si určíme oblast záběru celé formace. Oblast záběru jednoho letounu demonstruje následující obrázek.



Obrázek 8.2 – oblast záběru jednoho UAV

Jelikož známe úhel záběru kamery, který je  $90^\circ$ , tak si podle jednoduchého goniometrického vzorce můžeme vypočítat polovinu délky základny a vynásobit jí dvěma z čehož nám vyjde oblast záběru jednoho bezpilotního letounu.

$$a = \tan 45^\circ \cdot 400 \cdot 2 = 800m$$



Obrázek 8.3 – oblast záběru formace UAV

Na obrázku výše je pěkně vidět jak je vyřešen naší již několikrát zmiňovaný problém zpoždění. Vše je přesně podle funkčních závislostí. Jak jde vidět, prvně byli vypuštěny letouny 3 a 4. A po zpoždění  $t$  se do vzduchu dostali také letouny 1 a 2.

Díky tomu, že známe oblast záběru jednoho letounu a určili jsme si překrytí 10%, abychom dostali určité přesnosti a nic nám neuteklo, jsme mohli sestrojit schéma, které je na obrázku 8.3. Ze kterého jasně vyplývá, že oblast záběru celé formace ve výšce  $h = 400\text{m}$  je 2960m.

Nyní známe úhel záběru a tak si určíme počet pásů, kterými formace ve čtverci  $10 \times 10 \text{ km}$  proletí a prohledá je. Určíme si to následovně. Nejprve celkovou šířku vydělím šíří záběru formace a číslo, které nám vyjde, zaokrouhlíme za každou cenu nahoru následovně.

$$10\,000 \div 2960 = 3,38 \cong 4$$

Nyní jsme zjistili, že budou 4 prohledávací pásy. Jelikož ale nevyšlo celé číslo bude nám dost prostoru nadbývat. To znamená, že jej musíme uspořádat tak, aby se pásy překrývaly, jenom musíme zjistit o kolik. Uděláme to jednoduchým způsobem. Spočítám si potencionální mezery v trase formace, kterých je při čtyřech pásech vyhledávání pět. Dále zjistíme o kolik, a kde se budou překrývat. To znamená zbytek z hodnoty:

$$4 \cdot 2960 = 11840$$

Což je:

$$11840 - 10000 = 1840$$

Tuto hodnotu podělím počtem potencionálních mezer.

$$1840 \div 5 = 368$$

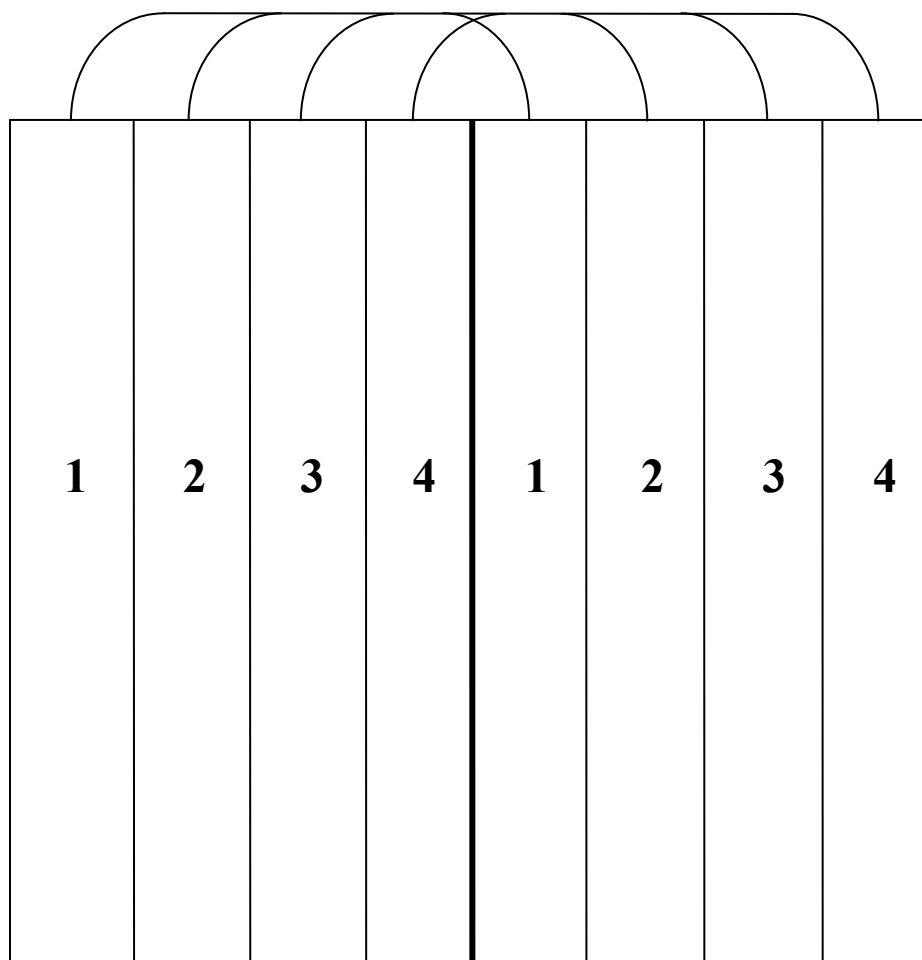
No a z toho vyplývá, že na vnějších okrajích prostoru přesáhnou o 368m a na konci šířky pásu uvnitř prostoru o polovinu což je 184m.

Schéma pohybu se čtyřmi pásy můžeme pozorovat na obrázku 7.5. Dalším krokem pro přiblížení pohybu bezpilotních prostředků při prvotním prohledávání bude spočítat celkovou dráhu a celkový čas prvotního prohledávání, abychom zjistili, zda je vůbec možné toto prohledávání provést.

Prvním jednoduchým výpočtem si spočítáme, jak dlouho nám budou trvat rovné úseky prvotního vyhledávání. Jelikož víme, letouny poletí 10km čtyřikrát je pro nás jednoduché si spočítat, za jak dlouho tuto vzdálenost urazí, počítáme li se zmiňovanými 80km/h.

$$\text{čas na rovině} = \frac{4 \times 10}{80} = 0,5 \text{ hodin} = 30 \text{ minut}$$

Dále se dostáváme do problému s otáčením na konci oblasti vyhledávání. Jakým způsobem budou letouny přelétávat z pásu do pásu. Tuto otázku nám názorně zodpoví následující schéma, kde čísla jsou číselná označení jednotlivých bezpilotních letounů. To znamená, že jednička vpravo je stejný letoun jako jednička vlevo.



*Obrázek 8.4 – schéma přeletu z pásu do pásu*

Jelikož již známe systém přeletů, tak už by neměl být problém spočítat dráhu při těchto přeletech, jenom nám chybí maličkost, kterou si musíme ujasnit, my totiž neznáme poloměr zatáčky, kterou se na konci pásu otočím o  $90^\circ$  poté letím po rovině a nakonec se opět nalétávám zatáčkou o  $90^\circ$  do druhého pásu, ve kterém letouny provedou prohledávání.

Jelikož máme celkem malý a agilní letoun, počítám s náklonem v zatáčce s hodnotou  $45^\circ$ . Úhel náklonu tedy známe, nyní ještě potřebujeme rychlost, kterou letoun poletí, jelikož chceme být co nejrychlejší, budeme hledat co největší rychlost. Tu najdeme tak, že si v tabulce výkonů najdeme, o kolik procent musím zvýšit rychlost při našem úhlu náklonu. To znamená, mám-li rychlost 80km/h tak to procento odečtu od 80km/h a vyjde mi, jakou rychlost jsem v té zatáčce schopen udržet.

To procento má hodnotu pro náklon  $45^\circ$  19%. Pro jistotu vezmeme raději hodnotu 20%.

$$80 \times 0,8 = 64 \text{ km/h}$$

Takže známe rychlost letounu v zatáčce 64 km/h a jeho náklon. Z těchto veličin jsme schopni vypočítat poloměr zatáčky podle následujícího vzorce, kde:

$\varphi$  ... úhel náběhu

$v$  ... rychlost

$r$  ... poloměr zatáčky

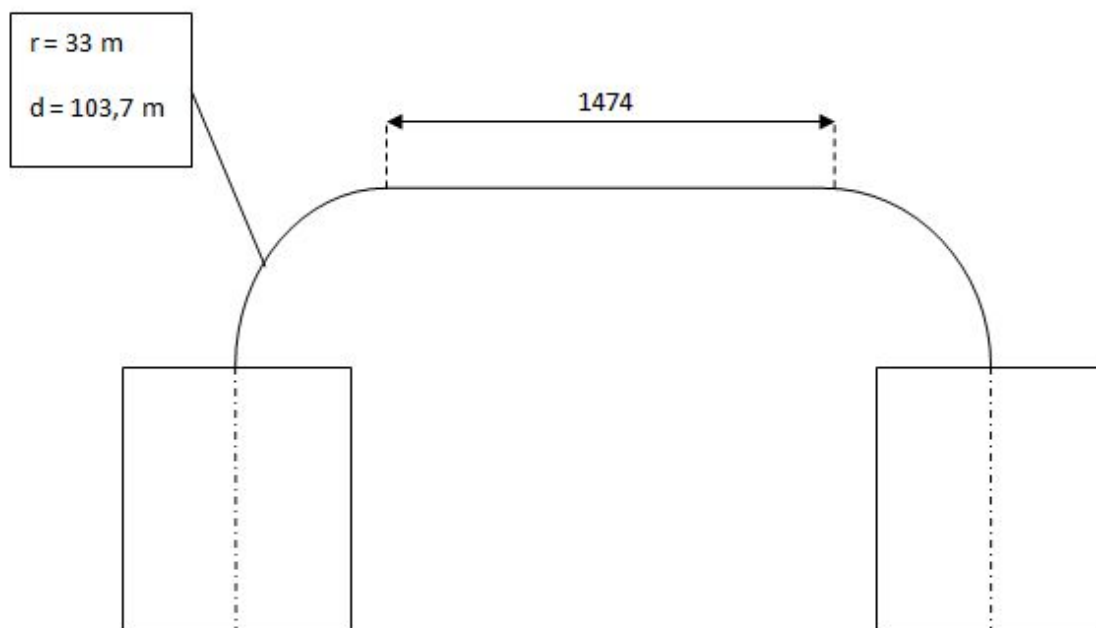
$g$  ... gravitační zrychlení  $9,81 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$$r = \frac{v^2}{g \cdot \tan \varphi}$$

$$r = \frac{17,8^2}{9,81 \cdot 1}$$

$$r = 33 \text{ m}$$

Na celou zatáčku se můžeme podívat na následujícím nákresu.



Obrázek 8.5 – nákres zatáčky z osy pásu do osy pásu

A nyní už nám nechybí nic k tomu, abychom spočítali celkový čas prvotního prohledávání pomocí čtyř bezpilotních letounů se záporným šípem. Nejprve si spočítáme čas v přeletu mezi pásy. Který se skládá z času v zatáčkách, jenž vypočítám jednoduše, vše potřebné lze vyčíst z nákresu uvedeného výše:

$$\text{čas v zatáčkách} = \frac{103,7}{17,7} = 5,9 \text{ sec.}$$

Dále si spočítáme čas na spojovací rovince mezi zatáčkami, kde již počítáme s rychlostí 80 km/h (22,2 m/s).

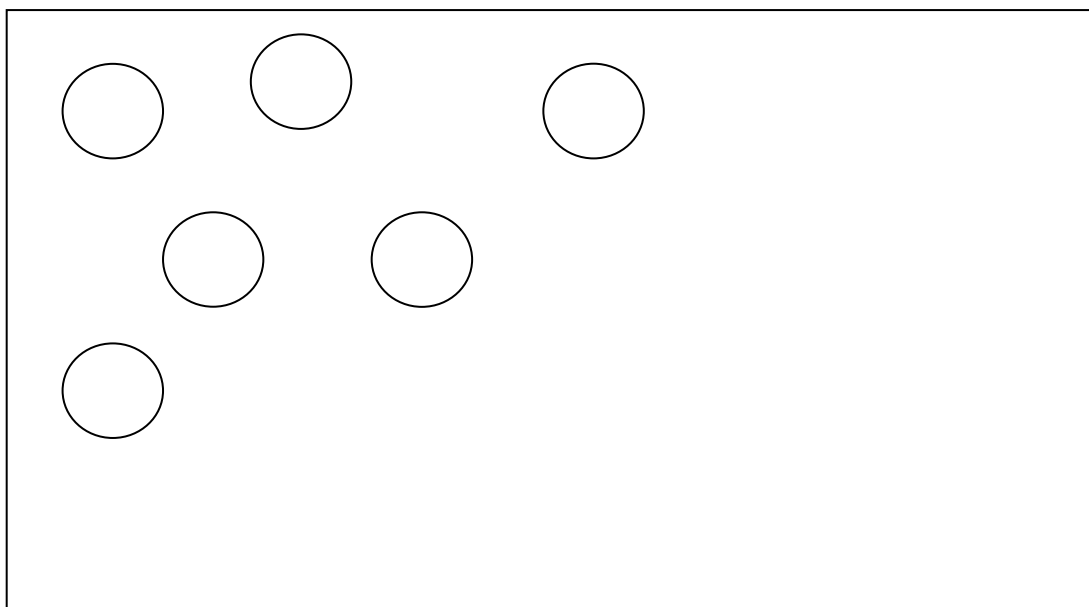
$$\text{čas spojovací} = \frac{1474}{22,2} = 66,3 \text{ sec.}$$

A celkově když si uvědomíme, že takových přeletů jsou na trati tři potom celkový čas prohledávání bude:

$$\text{celkový čas} = (72,23 \cdot 3) + 30 \cdot 60 = 2016,7 \text{ sec.} = 33 \text{ minut } 36 \text{ sekund}$$

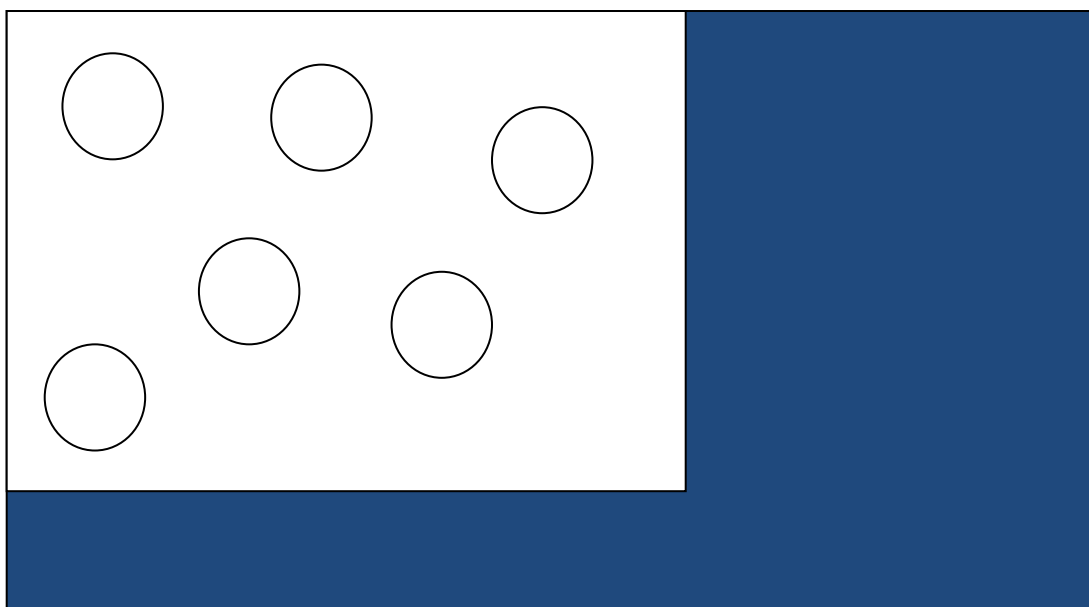
To znamená, že nám čas stačit bude, abychom prohledali danou oblast a kvadrokoptéra dostala první výstupy. Poslední nutný problém k vyřešení je krácení prostoru k vyhledávání. Ale než se UAS pustí do druhého kola, bude muset letět doplnit palivo. To znamená, že se vrátí přímo v o padesát metrů nižší výšce a bude pokračovat v prohledávání a upravovat postupně informace pro kvadrokoptéru. Dokud nedojde k nalezení pohřešované osoby, nebo nebude zásah ukončen způsobem uvedeným v kapitole 4.

Řekněme, že formace UAV se záporným šípem našla několik oblastí s určitou pravděpodobností výskytu pohřešované osoby dle následujícího obrázku.



*Obrázek 8.6 – schéma nalezených oblastí*

Jelikož se nalezené oblasti vyskytují blízko sebe, potom přistoupím ke krácení oblasti ve smyslu tom, že pokud jsem někde něco nenašel, potom tu to oblast vynechám z dalšího pátrání. Viz obrázek 8.7, kde vybarvená část reprezentuje vynechanou část. To znamená, že letouny po doplnění paliva poletí pouze po bílém obdélníku a použijí stejný postup, jaký byl uveden doposud.



*Obrázek 8.7 – krácení oblasti*

### 8.3. Výstup

Výstupem této části je trasa čtyř bezpilotních letounů a informace o vytyčených oblastech, ve kterých se s určitou pravděpodobností nachází pohřešovaná osoba. Tato pravděpodobnost je základem pro následující kapitolu, kde se zabývám model pro let kvadrokoptéry. Jak tato pravděpodobnost vznikne?

Pravděpodobnost nalezení pohřešované osoby (POS – probability of Success) je číslo vypočtené ze vztahu:

$$POS = POC \times POD$$

Co je POS již víme, ale nyní si musíme vyjasnit, co jsou ostatní dvě čísla v uvedeném vztahu pro výpočet pravděpodobnosti.

POC (probability of cantainment) je pravděpodobnost se objekt nachází v daném prostoru. Na tuto pravděpodobnost přijdeme jednoduše. Kamera provádí pomocí nějakého softwaru porovnávání všeho, co točí. To znamená, máme li 10 referenčních hodnot a kamera z nich rozpozná sedm, potom POC se bude rovnat 0,7.

POD (probability of detection) je pravděpodobnost, s jakou je schopna kamera danou osobu rozpoznat. Dalo by se říci, že tato pravděpodobnost vyjadřuje jakousi spolehlivost rozpoznávání kamery.

Aby nám kamera nedávala až příliš mnoho bodů, určili jsme si minimální hodnotu pravděpodobnosti POS na 0,7. To znamená, jeli pravděpodobnost z intervalu  $<0,7,1>$  potom zahrne kvadrokoptéra tuto oblast do svého modelu.

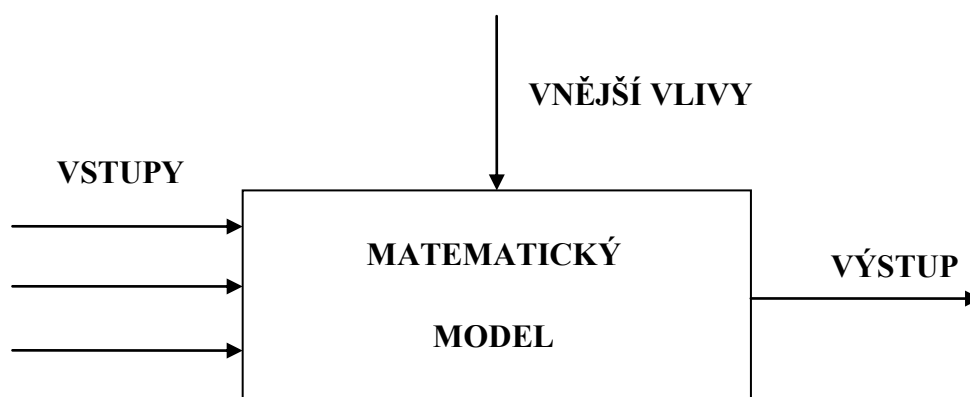


## 9. Model prognózování letu kvadrokoptéry

Jak jsem již zmínil výše ve své práci, se budu větší mírou zabývat predikcí polohy pomalejšího z bezpilotních prostředků a sice kvadrokoptéry. Kvadrokoptéra má konečnou potvrzovací respektive ověřovací funkci, kde s konečnou platností určí, zda se jedná o hledaný subjekt či nikoliv.

Jelikož jsme celkem limitováni výdrží baterií a vlastně celkově spotřebou energie zhruba na 30 minut letu musíme zvolit vhodnou metodu pro určení optimální trasy. Jak asi tušíte, budu se snažit trasy mezi oblastmi maximálně zoptimalizovat, aby byla jak efektivní, tak co nejkratší. K tomuto použiji jeden z optimalizačních nástrojů matematiky.

Model prognózování letu kvadrokoptéry vyřeším metodou matematického programování, což se dozvíte v odstavcích níže. Samotný model, jak je patrné dole na obrázku se skládá ze vstupu, řešení, na které popřípadě mohou působit vnější vlivy a konečného výstupu.



### Vstupy

Vstupy budou v našem případě tři:

- Prostory určené a ohraničené pomocí GPS souřadnic, kde se může hledaný subjekt nacházet
- Vzdálenosti mezi pomyslnými středy těchto prostorů
- Pravděpodobnosti, se kterou se v těchto prostorech hledaný subjekt nachází

## **Řešení**

K vyřešení tohoto problému jsem zvolil matematický model, řešený metodou matematického programování, a sice úlohou o obchodním cestujícím

## **Vnější vlivy**

Jediným vnějším vlivem mohou být nové příkazy řídicího střediska, například když bude stoprocentní shoda při hledání rychlejších UAV se záporným šípem, nebo zhoršující se počasí atd...

## **Výstup**

Výstupem modelu je konečná trasa kvadrokoptéry.

## **9.1. Matematický model**

Matematický model vytvořím jednou ze známých metod lineárního matematického programování. Než se dostaneme k samostatnému modelu, rád bych se chvíli věnoval tomu, co to matematické programování je.

Vzniklo přibližně před šedesáti lety na základě starších matematických disciplín a jeho mohutný rozvoj byl úzce spojen s rozvojem výpočetní techniky, který dodala potřebný nástroj pro praktické aplikace výpočetních postupů. V průběhu uplynulé poloviny století pronikly metody matematického programování do mnoha oblastí vědy, techniky a ekonomiky. Aplikaci metod matematického programování je možné nalézt téměř ve všech technických, ekonomických ale i vojenských činnostech, kde dochází k rozhodování. S použitím těchto metod e můžete setkat při organizaci všech druhů dopravy, při výstavbě telekomunikačních sítí, při plánování výroby, při výpočtu optimálního portfolia a dalších. Všeobecně matematické programování poskytuje pro uvedené aplikace matematické metody efektivního rozdělování omezených prostředků. [4]

Protože každé rozdělování je spojeno s jistým rozhodnutím prováděným při řízení nějakého procesu nebo systému, je základním pracovním nástrojem matematického programování model rozhodnutí. V matematickém programování jednotlivá rozhodnutí modelujeme proměnnou nabývající hodnot z oboru reálných čísel. Ve většině případů se rozhodnutí o řízení procesu skládá z většího počtu dílčích rozhodnutí a tehdy je rozhodnutí modelováno  $n$ -tíci reálných proměnných, neboli ne-rozměrnou proměnnou nabývající hodnot z  $n$ -rozměrného euklidovského prostoru., který budeme označovat  $E_n$ . [4]

Podle povahy řízeného procesu nebo systému jsou důsledky rozhodnutí modelovány buď deterministickými závislostmi a nebo stochastickými prostředky. V našem případě nám bude stačit omezit se pouze na první případ, kdy důsledky rozhodnutí lze modelovat reálnými funkcemi více proměnných. Podle vlastností funkcí použitých k popisu optimalizační úlohy třídíme úlohy programování na úlohy lineárního a nelineárního programování. Náš případ je opět ten první, a sice lineární programování. [4]

Metody lineárního programování jsou známy tím, že pro vyjádření závislostí můžeme použít jen omezené množství matematických nástrojů. Dalším omezením v našem případě bude použití bezplatné studentské verze softwaru Xpress, který nám umožňuje použití pouze tyto matematické nástroje:

- Menší / větší nebo rovno -  $\leq / \geq$
- Rovnost -  $=$
- Sčítání a odčítání proměnných
- A násobení proměnné reálnou konstantou.

Proměnné mohou mít 3 definiční obory. Jsou to:

- Celá nezáporná čísla
- Nezáporná reálná čísla
- Bivalentní (1,0)

## 9.2. Úloha obchodního cestujícího

Je to úloha o vyhledání minimální Hamiltonovy kružnice v grafu.

### Formulace problému:

V úplné dopravní síti (tj. síť, kde každý uzel je spojen úsekem s každým jiným uzlem – jelikož se pohybujeme ve vzduchu tak tato podmínka bude splněna vždy) o  $n$  uzlech a s nezáporným ohodnocením neorientovaných úseků (lze letět jak tam, tak i zpět tímto úsekem po stejné vzdálenosti) značených  $c_{ij}$  se v uzlu 1 nachází obchodní cestující. Je třeba pro něho nalézt trasu s co nejmenším celkovým ohodnocením použitých úseků tak, aby navštívil každý uzel právě jednou a aby se vrátil zpět do výchozího uzlu.

### 9.2.1. Postup řešení této úlohy

#### Vstupující množiny:

- $I$  . . . množina uzlů, ze kterých obchodní cestující odjíždí

- $J$  . . . množina uzlů, do kterých obchodní cestující vstupuje

Pro každý úsek v každém jeho směru zavedeme bivalentní proměnnou  $x_{ij}$ . Tato proměnná nám rozhodne, zda bude daný úsek zařazen do naší optimální trasy či nikoliv (1 = ANO, 0 = NE). Úplná síť o  $n$  uzlech má počet úseků roven výrazu:

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

Počet proměnných je dán:

$$n(n-1)$$

Požadavek, aby obchodní cestující každý uzel navštívil právě jednou, můžeme vyjádřit, tím že součet použitých úseků vstupujících do uzlu  $j$  musí být roven jedné. Aby trasa byla souvislá, je třeba, aby z každého uzlu také právě jeden úsek vycházel. I to zabezpečíme tím, že pro každý uzel napíšeme podmínku, že počet použitých úseků vycházejících z uzlu do všech ostatních uzlů je roven jedné. To všechno však nestačí. Uvedeným podmínkám mohou totiž kromě přípustných tras obchodního cestujícího vyhovovat i soustavy více disjunktních kružnic (nemají společný uzel). Například na úplné síti pro  $n = 5$  bychom mohli dostat řešení složené z následujících jednotkových bivalentních proměnných  $x_{21} = 1$ ,  $x_{34} = 1$ ,  $x_{45} = 1$ ,  $x_{53} = 1$ . Snadno zjistíme, že to, co proměnné určují, není trasa obchodního cestujícího ale dvě kružnice, které budeme dále nazývat podcykly. Zde tedy je zapotřebí sestavit takové podmínky, které by všechny podcykly zakázaly a přitom nezakázaly žádné přípustné řešení úlohy obchodního cestujícího. Takových podmínek existuje několik druhů a nazývají se antycyklické podmínky. My si ukážeme pouze konstrukci jedné, která je pro nás přípustná. Je přípustná proto, protože ji můžeme použít při výpočtu modelu v softwaru Xpress. [4]

### Antycyklická podmínka

Pro každý uzel  $i = 2, \dots, n$  pomocnou proměnnou  $y_i$  a budeme uvažovat podmínky následujícího typu pro každou dvojici uzlů  $i, j$  různých do uzlu 1. Podmínka je ve tvaru:

$$y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \text{pro } i, j = 2, \dots, n$$

Zde si uvědomíme, že pokud  $x_{ij}$  svými jednotkovými hodnotami určují v síti hamiltonovskou kružnici (uzavřená trasa zahrnující všechny uzly, to znamená začínající a končící v stejném uzlu), tak vždy existují taková  $y_i$ , která pro každou dvojici  $i, j$  tuto soustavu podmínek splňují. Stačí položit  $y_i$  rovno pořadovému číslu  $i$  na dané trase

obchodního cestujícího. Potom, pokud na trase následuje uzel  $j$  za uzlem  $i$ , bude  $x_{ij} = 1$ ,  $y_i = p$  a  $y_j = p + l$  a nerovnost bude splněna. Nebudou – li  $i$  a  $j$  v trase v uvedeném pořadí, bude  $x_{ij} = 0$  a protože uzlů  $2, \dots, n$  je celkem  $n - 1$ , nemůže být rozdíl jejich pořadí větší než  $n - 1$ . [4]

Model úlohy obchodního cestujícího bude vypadat následovně:

### Účelová funkce

Naším úkolem je minimalizovat ujetou vzdálenost obchodního cestujícího, to znamená, že účelová funkce bude mít tvar:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

### Za podmínek

První uvedená podmínka zaručuje, že každý uzel navštívíme právě jednou.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{pro } j = 1, \dots, n$$

Druhá podmínka zaručí souvislost naší trasy, aby do každého uzlu vcházel právě jeden úsek a vycházel z něj také právě jeden úsek.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^n x_{ji} \quad \text{pro } j = 1, \dots, n$$

Poslední strukturální podmínkou tohoto modelu je již výše zmiňovaná anticyklická podmínka, která zabezpečí, abychom vytvořili jednu optimální Hamiltonovu kružnici.

$$y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \text{pro } i, j = 2, \dots, n$$

Dále již následují pouze obligatorní podmínky, ve kterých chceme ukázat, z jakého definičního oboru jsou, které proměnné.

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \text{pro } i, j = 1, \dots, n$$

$$y_i \in Z_0^+ \quad \text{pro } i = 2, \dots, n$$

$$y_j \in Z_0^+ \quad \text{pro } j = 2, \dots, n$$

### 9.3. Aplikace úlohy obchodního cestujícího

Aplikace úlohy obchodního cestujícího bude vyžadovat pár lehkých změn a vysvětlení oproti modelu úlohy uvedenému výše. Jednou z hlavních změn našeho problému je, že si náš problém musíme diskretizovat, to znamená, že pravděpodobné oblasti výskytu převedeme na body (pomyslné středy těchto oblastí, které jsme si určili, že budou kružnicové. Z každého středu kružnice uděláme uzel trasy kvadrokoptéry (obchodního cestujícího). Ohodnocení těchto uzlů bude reprezentovat pravděpodobnost, se kterou se nachází hledaný objekt v té dané oblasti.

Velkým problémem při řešení tohoto problému je, že úloha v našem podání má zcela určitě dvě optimalizační kritéria. My totiž musíme vzít v potaz jak hodnotu pravděpodobnosti, kde jsme si určili nejmenší přípustnou pravděpodobnost  $2/3$ , tak vzdálenost, ve které se daná oblast nachází od vstupního bodu kvadrokoptéry (bod 1) do prostoru vyhledávání. Byla by totiž hloupost spoléhat pouze na pravděpodobnost, když by byl jenom minimální rozdíl v pravděpodobnosti mezi dvěma oblastmi, ale ta s větší pravděpodobností by byla třikrát dál nežli ta s pravděpodobností menší.

Proto musíme vyřešit, co dosadíme do matice sazeb  $C$ , abychom zohlednili obě kritéria najednou. Tento problém jsem vyřešil následovně. Abychom mohli pracovat efektivně, ohodnotíme výchozí pozici kvadrokoptéry hodnotou 1. Jelikož je to, výchozí bod víme, že se do něj díky anticyklící podmínce podíváme znovu až nakonec. Do matice sazeb tedy dosadíme součin rozdílu pravděpodobností  $P$  mezi dvěma uzly a vzdálenosti  $d$  mezi těmito uzly.

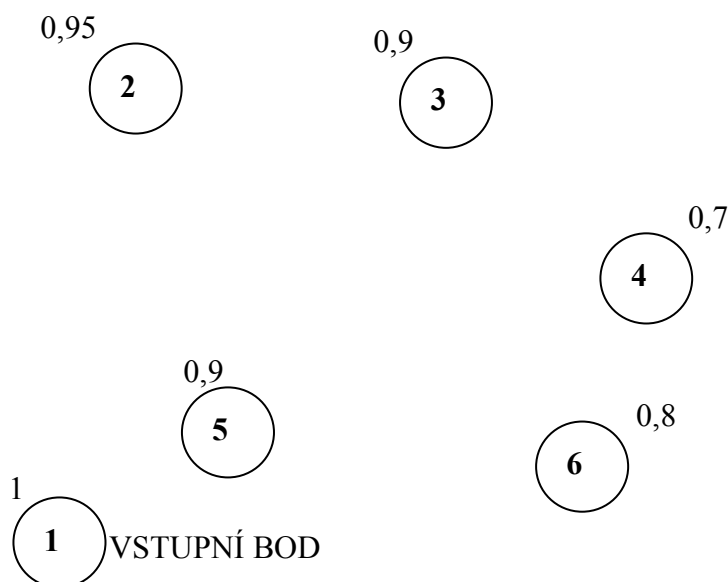
To znamená:

$$c_{ij} = |P_i - P_j| \cdot d_{ij}$$

Ještě nám může nastat, jeden problém. Může se stát, že se nám nebude hodit, abychom začínali a končili ve stejném uzlu. Pro tuto situaci je jednoduché řešení. Použijeme fiktivní počáteční uzel s ohodnocením 1 a vzdáleností ke každému uzlu v síti nula. To znamená, že určitě začneme a skončíme ve fiktivním uzlu a tím zajistíme, abychom se nevraceli do počátečního uzlu respektive vstupního bodu kvadrokoptéry do prostoru vyhledávání.

### 9.3.1. Konkrétní aplikace úlohy obchodního cestujícího

Nechť máme danu síť oblastí, kde se s určitou pravděpodobností může nacházet hledaný subjekt. Dále známe středy těchto oblastí, které si určíme uzly. Ohodnocení uzlů je rovno pravděpodobnosti výskytu hledaného subjektu. Celé rozpoložení je uvedeno na obrázku níže. Vzdálenosti mezi uzly jsou zadány v tabulce pod obrázkem.



Obrázek 9.1 – rozmístění  $p$ -ných oblastí

Uzly	1	2	3	4	5	6
1	X	11	11,5	12	13	5
2	11	X	5,5	9,5	12	7,5
3	11,5	5,5	X	4	7	6
4	12	9,5	4	X	3	7
5	13	12	7	3	X	8
6	5	7,5	6	7	8	X

Tabulka 9.1 – matice vzdáleností

Z dat uvedených výše můžeme spočítat jednotlivé členy matice sazeb  $C$ . Jelikož, se pohybujeme ve vzduchu, tak jsme si jistí, že žádný s úseků nebude orientovaný a tím pádem se v něm můžeme pohybovat oběma směry. Toto nám zaručí, že jak matice vzdáleností, tak matice sazeb budou mít hodnoty zrcadlově podle hlavní diagonály.

Dále je důležité zmínit, na hlavní diagonále ( $i = j$ ) musíme v incidenční matici umístit tzv. prohibitivní konstantu, aby se nám povedlo naši úlohu optimalizovat. Prohibitivní konstanta se používá obvykle, aby nedošlo k nalezení nepřipustného řešení.

My si zvolíme přiměřeně velké číslo tak, aby nedošlo k vybrání relací  $x_{ii}$ , které by měli pochopitelně hodnotu v matici sazeb rovnu nule.

Výpočet členů  $c_{ij}$ :

$$c_{12} = |P_1 - P_2| \cdot d_{12} = |1 - 0,95| \cdot 11 = 0,55$$

$$c_{13} = |P_1 - P_3| \cdot d_{13} = |1 - 0,9| \cdot 11,5 = 1,15$$

$$c_{14} = |P_1 - P_4| \cdot d_{14} = |1 - 0,7| \cdot 12 = 3,6$$

$$c_{15} = |P_1 - P_5| \cdot d_{15} = |1 - 0,8| \cdot 13 = 2,6$$

$$c_{16} = |P_1 - P_6| \cdot d_{16} = |1 - 0,9| \cdot 5 = 0,5$$

$$c_{23} = |P_2 - P_3| \cdot d_{23} = |0,95 - 0,9| \cdot 5,5 = 0,275$$

$$c_{24} = |P_2 - P_4| \cdot d_{24} = |0,95 - 0,7| \cdot 9,5 = 2,375$$

$$c_{25} = |P_2 - P_5| \cdot d_{25} = |0,95 - 0,8| \cdot 12 = 1,8$$

$$c_{26} = |P_2 - P_6| \cdot d_{26} = |0,95 - 0,9| \cdot 7,5 = 0,375$$

$$c_{34} = |P_3 - P_4| \cdot d_{34} = |0,9 - 0,7| \cdot 4 = 0,8$$

$$c_{35} = |P_3 - P_5| \cdot d_{35} = |0,9 - 0,8| \cdot 7 = 0,7$$

$$c_{36} = |P_3 - P_6| \cdot d_{36} = |0,9 - 0,9| \cdot 6 = 0$$

$$c_{45} = |P_4 - P_5| \cdot d_{45} = |0,7 - 0,8| \cdot 3 = 0,3$$

$$c_{46} = |P_4 - P_6| \cdot d_{46} = |0,7 - 0,9| \cdot 7 = 1,4$$

$$c_{56} = |P_5 - P_6| \cdot d_{56} = |0,8 - 0,9| \cdot 8 = 0,8$$

*Prohibitivní konstantu si musíme zvolit minimálně o něco větší než je největší hodnota z výše uvedených. To znamená, že si zvolíme prohibitivní konstantu  $T = 4$ .*



Z výše uvedených dat nyní sestavíme matici sazeb  $C$ .

i/j	1	2	3	4	5	6
1	4	0,55	1,15	3,6	2,6	0,5
2	0,55	4	0,275	2,375	1,8	0,375
3	1,15	0,275	4	0,8	0,7	0
4	3,6	2,375	0,8	4	0,3	1,4
5	2,6	1,8	0,7	0,3	4	0,8
6	0,5	0,375	0	1,4	0,8	4

*Tabulka 9.2 –matice sazeb*

Jelikož nyní známe matici sazeb  $C$ , můžeme sestavit účelovou funkci.

$$\min f(x) = 4 \cdot x_{11} + 0,55 \cdot x_{12} + 1,15 \cdot x_{13} + \dots + 0,8 \cdot x_{65} + 4 \cdot x_{66}$$

Dále sestavíme skupinu strukturálních podmínek, tedy podmínek, které přímo ovlivňují samotný model a tudíž i hodnotu účelové funkce.

Nejdříve sestavíme skupinu podmínek, která zabezpečí, abychom každý uzel navštívili právě jednou.

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} = 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} = 1$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} = 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} = 1$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} = 1$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} = 1$$

Následující skupina podmínek je také pro všechny  $j$  a díky ní bude naše trasa souvislá, tzn. že navštívíme všechny uzly.

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} = x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16}$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} = x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26}$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} = x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36}$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} = x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46}$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} = x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56}$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} = x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66}$$

A nyní si zavedeme poslední skupinu strukturálních podmínek, bude to skupina anticyklických podmínek, které nám zabezpečí, aby se nevytvořily disjunktní kružnice. Ještě si ji jednou připomeneme, neboť její struktura je poněkud složitější než u předchozích podmínek. Pro připomenutí  $n$  v této podmínce reprezentuje počet uzlů.

$$y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \text{pro } i, j = 2, \dots, n$$

Po dosazení dostáváme těchto 25 podmínek:

$$2 - 2 + 6x_{22} \leq 5$$

$$2 - 3 + 6x_{23} \leq 5$$

$$2 - 4 + 6x_{24} \leq 5$$

$$2 - 5 + 6x_{25} \leq 5$$

$$2 - 6 + 6x_{26} \leq 5$$

$$\vdots$$

$$5 - 5 + 6x_{55} \leq 5$$

$$5 - 6 + 6x_{56} \leq 5$$

$$6 - 6 + 6x_{66} \leq 5$$

A nakonec si ukážeme ještě obligatorní podmínky, které jak už bylo řečeno, určují definiční obor proměnných vyskytujících se v tomto modelu.

$$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{56}, x_{66} \in \{0, 1\}$$

$$y_2, \dots, y_6 \in Z_0^+$$

### 9.3.2. Použití modelu v praxi

Abychom tento model mohli použít v praxi, musíme disponovat nějakým nástrojem výpočetní techniky, který nám v tom pomůže. Existují sice i algoritmy, kterými bychom se mohli dopátrat konečného řešení i „ručně“, ale tato metoda není jenom zastaralá, ale také značně zdlouhavá. Jenom pro příklad tento problém by se dal „ručně“ vyřešit například

Littlovým algoritmem. My ovšem nebudeme počítat ručně, nýbrž tu spoustu podmínek uvedených výše přepíšeme do našeho softwaru Xpress, který nám určí optimální pořadí uzlů, tak aby cesta uražená kvadrokoptérou byla optimální.

V Xpress je důležité znát přesně všechna data, neboť při psaní programu nejprve definujete všechny indexy, které se vyskytují v úloze, poté si nadefinujete konstanty a nakonec proměnné. Dále zavedeme matici sazeb, na kterou se dále budeme odkazovat v účelové funkci a také v našich strukturálních podmínkách.

### **Indexy**

Budou dvojí:

- Index pro většinu podmínek a účelovou funkci, to znamená nabývající hodnot od 1 do 6, což je počet uzlů
- Druhý index nadefinujeme z důvodu, že v anticyklické podmínce je potřeba index od 2 do počtu uzlů, tedy do 6.

### **Konstanty**

Jako konstanta bude v našem modelu vystupovat hodnota  $c_{ij}$  z matice  $C$ .

### **Proměnné**

Proměnné budou trojí:

- $x_{ij}$  .... Bivalentní proměnná modelující zda bude daný úsek vybrán či nikoliv
- $y_i$  .... Pomocná proměnná v anticyklické podmínce, která má definiční obor z celých nezáporných čísel. A její indexy se pohybují od 2 do  $n$ . Tato proměnná se vstahuje k uzlu, který opouštíme.
- $y_j$  .... Pomocná proměnná v anticyklické podmínce, která má definiční obor z celých nezáporných čísel. A její indexy se pohybují od 2 do  $n$ . Naopak tato proměnná se vstahuje k uzlu, do kterého budeme přilétat.

## Text v programu Xpress

```
model ModelName
uses "mmxprs";

declarations
!Indexy
uzel=1..6
uzelc=2..6
!konstanty
c:array(uzel,uzel)of real

!proměnné
x:array(uzel,uzel)of mpvar
y:array(uzelc)of mpvar
end-declarations

T:=4
n:=6
c::[T,1.1,1.15,3.6,2.6,0.25,
    1.1,T,0,1.9,1.2,0.375,
    1.15,0,T,0.8,0.7,0.3,
    3.6,1.9,0.8,T,0.3,1.75,
    2.6,1.2,0.7,0.3,T,1.2,
    0.25,0.375,0.3,1.75,1.2,T]

!podmínky
forall(j in uzel)sum(i in uzel)x(i,j)=1
forall(j in uzel)sum(i in uzel)x(i,j)=sum(i in uzel)x(j,i)
forall(i in uzelc, j in uzelc)y(i)-y(j)+n*x(i,j)<=n-1

!obligatorní podmínky
forall(i in uzel, j in uzel)x(i,j)is_binary
forall(i in uzelc)y(i)is_integer

!účelová funkce
fx:=sum(i in uzel, j in uzel)c(i,j)*x(i,j)
minimize(fx)

writeln("Hodnota účelové funkce je ",getobjval)
forall(i in uzel, j in uzel|getsol(x(i,j))=1)writeln("x(",i,",",j,") = ",getsol(x(i,j)))
end-model
```

## Výpis programu Xpress

Hodnota účelové funkce je 3.65

$$x(1,2) = 1$$

$$x(2,3) = 1$$

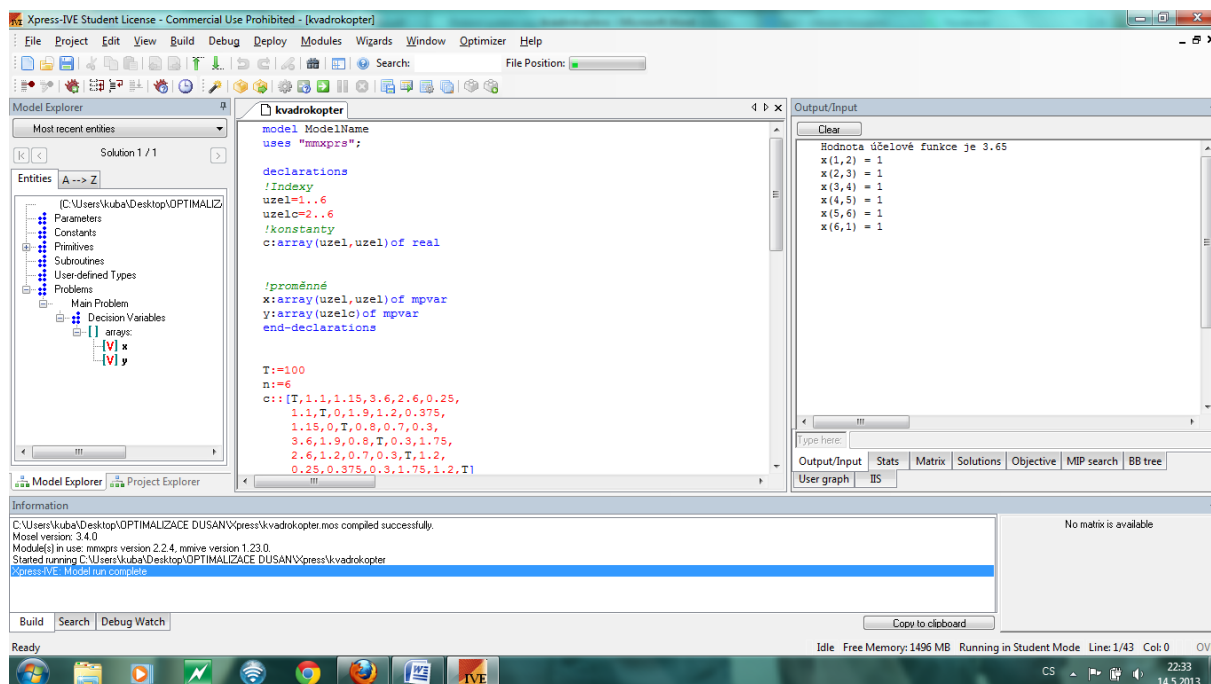
$$x(3,4) = 1$$

$$x(4,5) = 1$$

$$x(5,6) = 1$$

$$x(6,1) = 1$$

Pro věrohodnost ještě přikládám screen shot práce v programu Xpress.



Obrázek 9.2. – printscreen obrazovky při práci v Xpress

Z výše uvedeného výpisu programu Xpress je zřejmé, že optimální trasa povede přesně podle pořadí zdiskretizovaných oblastí. Po dosazení vzdáleností z tabulky vzdáleností zjistíme i vzdálenost, kterou letoun uletí mezi středy těchto oblastí.

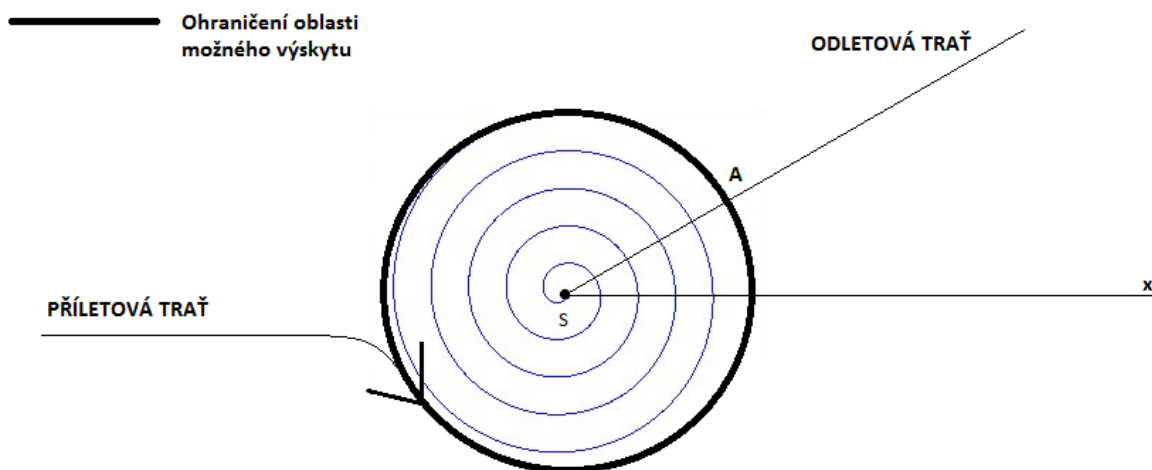
Let bude probíhat tedy v následujícím pořadí:

$$1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 1$$

## 9.4. Finální řešení letu kvadrokojterů

Když už známe pořadí, ve kterém bude kvadrokojtera obléhat tyto oblasti musíme se vrátit zpět na začátek problému a zjistit, jak se bude pohybovat vy skutečnosti. To znamená, že z bodů uděláme opět zpátky oblasti, do kterých bude kvadrokojtera přilétávat dle daného matematického modelu.

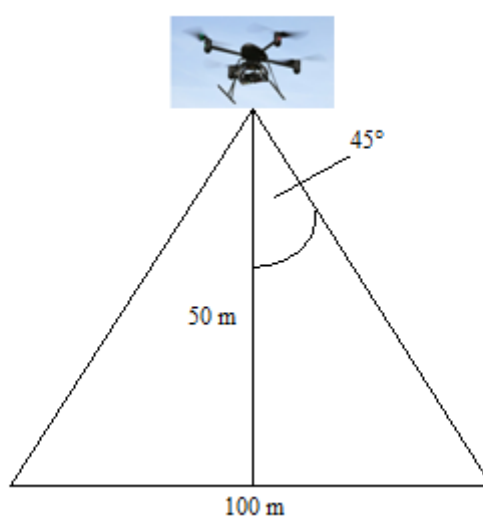
Musíme si uvědomit, jak bude nejlepší danou kruhovou oblast prohledat. Velikost oblasti bude zhruba kruh s průměrem 500m. Jelikož se může stát, že bude hledaný subjekt v pohybu, bude nejspíše nejlepší nejprve prohledat krajní části oblasti a postupně se dostávat do nitra kruhu ve spirále. Pro tento postup použijeme tvar Archimédovy spirály ve strojnictví známé jako závitnice. To znamená, že kvadrokojtera bude postupovat dle následujícího obrázku.



Obrázek 9.3 – let do obrazce16

Tento obrázek nám popisuje přilet k vyhledávané oblasti po nejkratší vzdušné trati od poslední prohledávané oblasti. Vidíme také, jak si kvadrokoptéra naletí do obrazce, což nám znázorňuje šipka směřující do směru proti hodinovým ručičkám. Dále můžeme na obrázku pozorovat odletovou trať, která vede ze středu oblasti a opouští oblast v bodě A pod kurzem směřujícím do středu další oblasti.

Dalším problémem, který je zde třeba zmínit je rozteč závitů (spirály). Tu si určíme pomocí jednoduchého obrázku uvedeného níže. A sice budeme li počítat s úhlem záběru snímáče (kamery)  $90^\circ$  a bude li v ideálním případě kvadrokoptéra ve výšce 50m nad povrchem potom záběr jejího snímáče na povrchu tvoří 100m.



Obrázek 9.4 – rozsah kvadrokoptéry

Tento obrázek vznik jednoduchým výpočtem díky jednoduché goniometrické funkce tangens. V následujícím vzorci  $x$  reprezentuje námi hledanou hodnotu 100m.

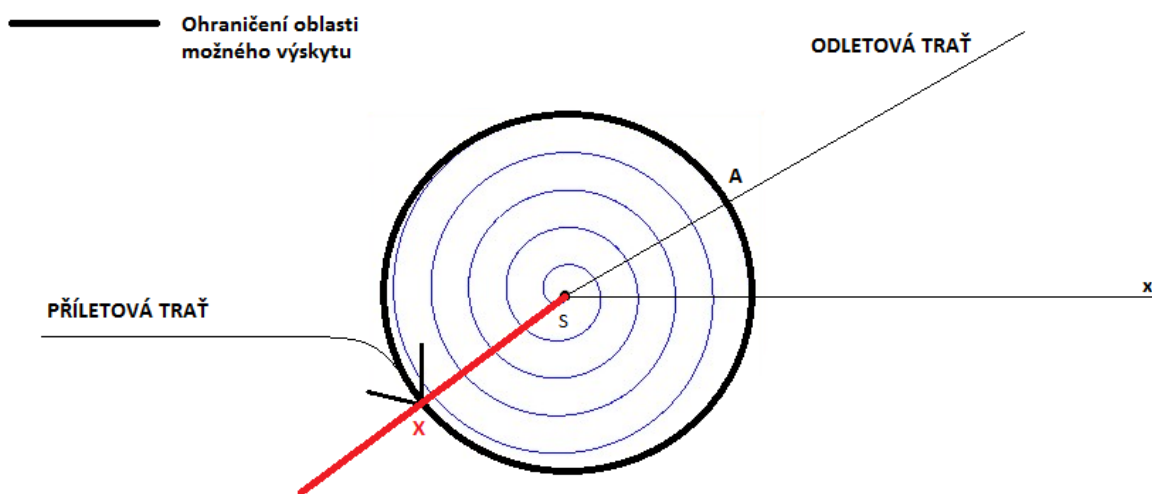
$$\tan 45^\circ = \frac{x}{50}$$

Po vyjádření a přepočtu goniometrické funkce dostaneme:

$$x = 100 \cdot 1$$

Z tohoto je nám jasné, že budeme potřebovat minimálně 5 závitů na oblast s průměrem 500m. Ale jelikož chceme prohledat celou oblast a nějakým bodem budeme do oblasti vstupovat a jiným vystupovat bude potřeba o nějaký zlomek více závitů nežli pět. Délku Archimédovy spirály si spočítáme v následujících vzorcích a nákresech.

Na následujícím obrázku je zobrazen bod  $X$  o polárních souřadnicích  $X[r, \varphi]$ . Tento bod budeme potřebovat pro výpočet délky Archimédovy spirály. V těchto souřadnicích  $r$  vyjadřuje vzdálenost bodu  $X$  od bodu  $S$ . A úhel  $\varphi$  potom úhel který opíše průvodič spirály od počátku (bod  $S$ ) až po náš bod  $X$ .



Obrázek 9.5 – délka Archimédovy spirály

Úhel  $\varphi$  je při průměru oblasti 500m a našem umístění bodu  $X$  roven v obloukové míře  $29/6 \pi$ . Průvodič  $r$  je samozřejmě roven 250m, což je polovina z průměru. Délku křivky potom spočítáme následujícím způsobem.

$$s = \int_0^{\varphi} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt$$

Zde dosadíme polární souřadnice:

$$\dot{x} = a \cos t - at \sin t, \dot{y} = a \sin t + at \cos t$$

Po úpravách získáme určitý integrál, který vypadá následovně:

$$s = a \int_0^{\varphi} (1 + t) dt$$

Dále integrujeme:

$$s = a \left[ t + \frac{t^2}{2} \right]_0^{\varphi} = a\varphi \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

A jelikož víme, že rovnice Archimédovy spirály je  $r = a\varphi$ , tak dosadíme do výše uvedeného vztahu a získáme vztah pro výpočet délky Archimédovy spirály.

$$s = r \left( 1 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

A nyní vypočítáme délku Archimédovy spirály v našem případě, budeme-li znát délku trasy, potom můžeme vypočítat i dobu, za kterou je schopna kvadrokoptéra oblast prohledat.

$$s = 250 \left( 1 + \frac{\frac{29\pi}{6}}{2} \right) = 250 \left( 1 + \frac{29}{12} \pi \right) = 2148 \text{ m}$$

Dále si podle jednoduchého vzorce vypočítáme dobu, za kterou je kvadrokoptéra schopna prohledat danou oblast. Použijeme snad ten nejjednodušší vztah pro výpočet dráhy známe-li rychlost.

$$s = vt$$

Po vyjádření doby letu a dosazení průměrné rychlosti 40 km/h, dostaneme výsledek.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2,148 \text{ km}}{40 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,0537 \text{ hod}$$



Po převedení na minuty bude doba hledání v tomto prostoru 3 minuty a 13 vteřin.

Celkový čas vyhledávání bychom potom spočítali tak, že bychom vynásobili náš výše získaný čas počtem oblastí s pravděpodobností výskytu hledaného subjektu, které bychom chtěli prohledávat. Dále bychom přičetli dobu, za kterou je kvadrokoptéra schopna se mezi oblastmi přemístit. Tuto dobu bychom vypočetli obdobně, akorát bychom zde počítali s vyšší rychlostí, neboť letoun poletí na rovných úsecích. Dále bychom museli od vzdálenosti střed – střed odečíst poloměr dané oblasti a až z této délky vypočítat dobu přemístění na daném úseku.

### **Překročení meze**

Po tomto výpočtu můžeme zjistit, že doba, kterou bychom potřebovali pro prohledání všech vytyčených oblastí může být větší než je schopna kvadrokoptéra na jeden pokus obletět. To znamená jediné, a sice že budeme muset nějaké oblast ubrat. Budeme postupovat následujícím způsobem. Jako první krok zvýšíme hranici pravděpodobnosti, to znamená, jestli se nyní pohybujeme u čísla 0,66 potom zvýšíme potřebnou pravděpodobnost na 0,8 a všechny oblasti, které mají pravděpodobnost výskytu hledaného subjektu pod 0,8 budou z modelu vyškrtnuty.

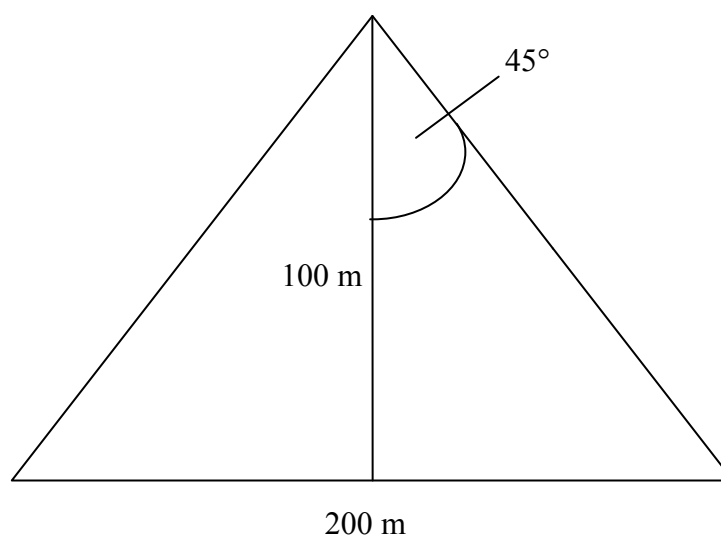
Nelze li tento problém vyřešit následujícím způsobem, ať už proto, že jsou všechny pravděpodobnosti výskytu hledaného subjektu skoro stejné nebo jsou nízké. Budeme muset vzít v potaz další optimalizační kritérium a tím je vzdálenost mezi oblastmi. Jeli v množině oblastí nějaká, která je osamocena a poměrně daleko od ostatních, tak ji vyškrtneme a tím snížíme hodnotu účelové funkce u matematického modelu a tím i čas potřebný pro prohledání prostoru. Další možností je, že se dají oblasti rozdělit na dvě skupiny dle vzdálenosti. V tomto případě by byl postup, takový, že kvadrokoptéra by prohledala první skupinu oblastí přistála byl by jí vyměněn akumulátor a mohla by pokračovat v pátrání v další skupině oblastí.

### **Změna výšky**

Posledním řešením situace, kdy z technických důvodů není kvadrokoptéra schopna obletět všechny vytyčené oblasti, kde je určitá pravděpodobnost nalezení hledaného subjektu. Jednalo by se o změnu letové výšky kvadrokoptéry. Jak jsme si nadefinovali někde na začátku, počítáme s tím, že kvadrokoptéra se bude pohybovat ve výšce zhruba 50 – 100m. Kdybychom změnili letovou výšku z 50 na 100 metrů potom bychom dostali širší záběr snímáče, v našem případě kamery s možností nočního vidění a díky tomuto aspektu

by se nám změnila i celková dráha kvadrokoptéry a s tím i celkový čas, který by kvadrokoptéra ve vzduchu strávila.

Tato metoda má ovšem i nevýhodu a jak asi dobře tušíte bude to ve zhoršení přesnosti daného senzoru. Kamery totiž, když změníme výšku bude muset použít větší zoom a tudíž se zhorší i kvalita obrazu a softwary pro rozpoznávání budou mít mnohem složitější práci, a budou moci určit 100% shodu jen s těží.



*Obrázek 9.6 – nový rozsah kvadrokoptéry*

při změně výšky na 100 m nad povrchem. Jelikož je úhel záběru 90%, potom se jedná o klasickou úlohu pravoúhlého rovnoramenného trojúhelníka. To znamená, že základna se bude měnit o tolik procent, o kolik se změní výška. V našem případě to bylo o 100%.

## 10. Zhodnocení cílů

Jako zhruba největší cíl práce jsem uvedl, že mám vypracovat jakýsi model predikce polohy. V tomto bodě si myslím, že jsem cíl této práce splnil vypracováním sice jednoduchého, ale nadrbou stranu dost dobře pochopitelného a účelného modelu predikce polohy bezpilotních letounů se záporným šípem.

Model predikce polohy kvadrokoptéry si myslím, že je o stupeň výš než již zmiňovaný model UAV se záporným šípem. Je to matematický model pro určení minimální hamiltonovy kružnice v grafu, který je mnou použitý software rychle a bezpečně spočítat až pro 7 nalezených lokalit.

Další cíle jako jsou analýza a návrh metody řešení tohoto problému jsou v této práci popsány dle mého názoru dostatečně i s názornými nákresy a schématy, aby vše bylo jednoduše pochopitelné a dostatečně názorné. Do analýzy jsem přidal, jak samotné pátrání po pohřešovaných osobách v současném stavu probíhá a kde by byla mezera pro naše bezpilotní letouny jsem v kapitole 4 uvedl také. Ze začátku jsme i myslel, že zadané cíle nesplním, ale myslím si, že jsem to nakonec i trochu zvládl.

## 11. Závěr

Závěrem této práce bych se chtěl trochu věnovat budoucnosti této problematiky. Dle mého názoru má takováto technologie na světě velký potenciál. To jde vidět i na rozvoji vojenských bezpilotních systémů. Ono by se také mohlo stát, že by veškeré válečné stroje nahradily bezpilotní letouny, ponorky bez posádky, lodě bez posádky a třeba i tanky bez posádek.

Ale vraťme se k naší problematice pátrání po pohřešovaných osobách v terénu. Víím, že v takovém vysokoškolském projektu, který máme u nás na ústavu, je těžké se bavit o nějaké spektrální kameře za několik milionů, která by tento projekt dostala do úplně jiných výšin, v tom případě by nebyl problém hledat v žádném prostředí přírody problém.

Jedním z velkých problémů je a dlouho ještě bude dolet letounů. A tudíž problémem s tím souvisejícím je, že pohřešovaná osoba se neustále pohybuje. Ono i když ji například 100% identifikuje kvadrokoptéra, tak ten člověk o tom třeba vůbec nemusí vědět a může se vydat zase jinam a hledání může začít nanovo. Proto bych do budoucna uvážil možnost například na kvarokoptéru připevnit nějaký vzkaz pro hledanou osobu, který by kavadrokoptéra vypustila a člověk by zůstal na místě. Nebo by možná šlo odeslat zprávu na všechny mobilní telefony v oblasti se vzkazem, horší by bylo kdyby v dané oblasti nebyl signál, nebo by hledaný neměl telefon.

Chtělo by se do budoucna zkrátka zamyslet, jak tomu člověku dát z toho bezpilotního prostředku vědět, že je hledán.

## 12. Seznam použité literatury

- [1] Hill, A. K., : Psychology of lost, Univerzity of St. Marie, Halifax, 2007, 192 str
- [2] Integrovaný záchranný systém Praha, Doporučené postupy pro činnost příslušníků Policie ČR při pátrání po pohřešovaných osobách, Praha, 2004
- [3] Soza & Company, Ltd., Office of Search and Rescue U.S. Coast Guard, The Theory of Search, A simplified explanation, USA, 1996
- [4] Janáček, J. : Matematické programování, Žilinská univerzita v Žilině, Žilina, 2003, 225str, ISBN 80-8070-054-0
- [5] <http://www.gizmag.com/go/8287/> (18.5.2013)
- [6] <http://www.aviationnews.eu/2012/08/06/lockheed-martin-procerus-technologies-unveils-new-unmanned-quad-rotor-vertical-take-off-and-landing-system/cyber-quad-uav/> (18.5.2013)
- [7] [http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=54656b7574696e79h&key=925](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=54656b7574696e79h&key=925) (19.5.2013)
- [8] <http://defense-update.com/products/s/skylark1-uav.htm> (13.6.2012)
- [9] <http://www.army.cz> (17.4.2013)
- [10] <http://lide.uhk.cz/pdf/ucitel/zumarmo1/aspekty/bezpecnost.htm> (7.8.2012)